

**Die Fluoridbestimmung im Dentin
zur Altersschätzung an Zähnen**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
doctor medicinae (Dr. med.)

**vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät
der Friedrich – Schiller - Universität Jena**

**von Markus Schramm
geboren am 8.10.1967 in Erfurt**

Gutachter

- 1. Frau Prof. Dr. A. Klein, Jena**
- 2. Herr Prof. Dr. B. Geserick, Berlin**
- 3. Herr Priv.- Doz. Dr. Reinhardt, Jena**

Tag der öffentlichen Verteidigung: 18. Juni 2002

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	01
2. Methoden zur Altersschätzung an Zähnen	03
2.1. Konventionelle Methoden zur Altersbestimmung	03
2.1.1. Altersbestimmung anhand der Gebißentwicklung	03
2.1.2. Altersbestimmung anhand biomorphotischer Veränderungen	05
2.1.3. Chemisch – physikalische Methoden der Altersbestimmung	07
2.1.4. Altersschätzung anhand epidemiologischer Kriterien (DMF-Index)	08
2.1.5. Vergleich der konventionellen Methoden der Altersschätzung	09
2.2. Die Methode der Wurzeldentintransparenz zur Altersschätzung	10
2.3. Die Methode der Fluoridkonzentrationsbestimmung in der Zahnhartsubstanz zur Altersschätzung	16
2.3.1. Struktur und Zusammensetzung von Dentin und Schmelz	16
2.3.2. Die Fluoridkonzentration in der Zahnhartsubstanz	18
2.3.3. Die Altersabhängigkeit der Fluoridkonzentration im menschlichen Hartgewebe	20
2.4. Zielstellung der Arbeit	22
3. Experimenteller Teil	23
3.1. Material und Methoden	23
3.1.1. Untersuchungsmaterial	23
3.1.2. Bestimmung der Wurzeldentintransparenz	26
3.1.3. Bestimmung der Fluoridkonzentration im Dentin	28
3.1.3.1. Bestimmung des Fluoridgehaltes mittels fluoridsensitiver Elektroden	28
3.1.3.2. Methode der Fluoridbestimmung im Dentin	29
3.1.3.3. Geräte und Chemikalien	31
3.2. Mathematisch – statistische Auswertung	32
3.2.1. Mathematisch – statistische Vorbetrachtungen	33
4. Ergebnisse	35
4.1. Darstellung der Einzelergebnisse	35
4.1.1. Ergebnisse der Bestimmung der Wurzeldentintransparenz	35
4.1.2. Ergebnisse der Fluoridbestimmung im Dentin	38
4.2. Regressionsanalyse und Korrelationskoeffizienten	41

Inhaltsverzeichnis

4.2.1.	Ergebnisse der Regressionsanalyse	43
4.2.2.	Beurteilung der Altersschätzung im Bezug zu mittleren Alter	45
4.2.3.	Vergleich der Altersschätzung beider Methoden anhand der Einzelwerte	48
4.2.4.	Äquivalenztestprüfung und T-Test Prüfung für beide Methoden	51
4.2.5.	Regressionsanalyse einzelner Zahngruppen	53
5.	Diskussion der Ergebnisse	59
6.	Zusammenfassung	70
	Literatur	73
	Anlage (Einzelergebnisse)	78
	Nachwort	
	Ehrenwörtliche Erklärung	
	Lebenslauf	

1. Einleitung

Ein wichtiger Bestandteil der forensischen Odonto-Stomatologie ist die Altersdiagnostik. Altersabgrenzungen, Altersbegutachtungen, Altersbestimmungen bzw. Altersschätzungen sind nicht nur für die Begutachtung aufgefundener Skelette, für Identitätsfeststellungen unbekannter Leichen sondern auch zur Beurteilung lebender Personen notwendig, welche keine verlässlichen Angaben zu ihrem Lebensalter machen können bzw. wollen. Die Notwendigkeit einer verlässlichen Identifikation besteht besonders bei Massenkatastrophen wie Flugzeugabstürzen, Zug- und Bergunglücken sowie Naturkatastrophen. Sind die Leichen der Opfer gut erhalten, ergeben sich verhältnismäßig wenige Probleme bei der Identifikation. Einerseits kann hier auf individuelle Körpermerkmale zurückgegriffen werden, andererseits können kriminalistische Merkmale der Spurensicherung sowie die Sicherung von Dokumenten und Gegenständen der Identifikation dienen. Bei Brand- und Explosionskatastrophen sowie durch Fäulnis, Verwesung und Verstümmelung können jedoch Leichen unkenntlich sein, oder es sind nur noch Gebiß- und Knochenfragmente erhalten, die zur Identifikation herangezogen werden können.

Zur Altersschätzung am menschlichen Skelett werden im wesentlichen das Auftreten der Knochenkerne, die Zahnentwicklung, die Verknöcherung der Schädelnähte, die Ossifikation der Epiphysenfugen und der Rippenknorpel, die Abnutzungserscheinungen an den Kauflächen der Zähne sowie die Verschleißerscheinungen der Wirbelsäule und der Gelenke herangezogen (15). Durch derartige Untersuchungen am Skelettmaterial wird das biologische Alter bzw. der biologische Entwicklungsstand ermittelt. Chronologisches und biologisches Alter werden bei derartigen Altersschätzungen am Skelett oft gleichgesetzt, da es meist nicht möglich ist, Diskrepanzen zwischen beiden sicher zu bestimmen. Unterschiedliche Reifungs- und Alterungsprozesse verschiedener Völker und die deutliche individuelle Variabilität der Altersveränderungen am Skelett sind hier zu erwähnen. Es wird daher nie möglich sein, die Altersdiagnose so genau anzugeben, wie in einem chronologischen Dokument (31).

Zähne widerstehen auf Grund ihrer Zusammensetzung und Struktur, verglichen mit anderen Organen, äußeren Einflüssen am besten (12). Dadurch sind Zähne oftmals die letzten verwertbaren individualtypischen Merkmalsträger bei der völligen Zerstörung des Organismus (60). So konnte SOGGNAES 1972 durch einen Vergleich der Schädelröntgenaufnahmen, die 1944 von Hitlers Kopf angefertigt worden waren, mit den von den russischen Rechtsmedizinern fotografierten Gebißüberresten vom Mai 1945 mit an



Abb.1 Schädelaufnahme Hitlers (54)

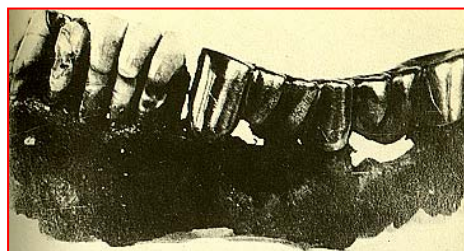


Abb.2 u.3 Fundstücke von Hitlers Gebiß (4)

Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nachweisen, daß es sich hierbei um die Zähne Hitlers handelte (54). Auf diese Ergebnisse gestützt, bestätigte SOGGNAES die oft in Zweifel gezogene Identifikation Hitlers durch die russischen Gerichtsmediziner (55,61).

Ist jedoch die Individualidentifizierung anhand des Zahnstatus auf Grund etwaiger Zerstörung der Kiefer oder wegen unvollständiger oder fehlender zahnärztlicher Dokumente nicht möglich, kommt der Altersbestimmung an noch vorhandenen, einzelnen Zähnen eine große Bedeutung zu.

2. Methoden zur Altersschätzung an Zähnen

Zur Altersschätzung an Zähnen bedient man sich unterschiedlicher Methoden. Diese Untersuchungsmethoden stützen sich auf die Kriterien Gebißentwicklung, biomorphotische und biochemische Veränderungen der Zähne sowie auf epidemiologische Kriterien. ZURTH et al. schlugen die in Tab. 1 zusammengefaßten Kriterien zur Altersschätzung an Zähnen vor (72).

Entwicklungsbiologische Kriterien	Epidemiologische Kriterien
<ul style="list-style-type: none"> • Stand der Dentition • Präsenz der dritten Molaren • Ausmaß der Wurzeldentintransparenz • Abrasion 	<ul style="list-style-type: none"> • DMF – Index • Zahnbestand • Anzahl primär gesunder Zähne • Zustand des marginalen Parodontiums

Tab. 1 Hauptkriterien zur Altersschätzung an Zähnen nach Zurth et al. (72)

2.1. Konventionelle Methoden zur Altersbestimmung

2.1.1. Altersbestimmung anhand der Gebißentwicklung

Da die Zahnentwicklung sehr regelhaft und wenig von Ernährung, Hormonhaushalt oder Krankheiten abhängig ist, kann sie zur Altersbestimmung sehr gut herangezogen werden (7). Nach EULER ist eine entwicklungsbiologische Altersschätzung anhand der Gebißentwicklung durch eine Zuordnung in die vier Hauptabschnitte der Dentition möglich (13, 14):

- Intrauterine Zeit
- Zeit Zwischen der Geburt und 1. Dentition
- Zeit zwischen 1. und 2. Dentition
- Zeit nach der 2. Dentition

Für die Altersbestimmung des Feten gibt es embryonale Entwicklungspunkte, wobei der Entwicklungsgrad der Zahnanlagen zur Altersschätzung prinzipiell mit histologischen und röntgenologischen Methoden möglich ist. Dies spielt jedoch in der gerichtsmedizinischen Praxis eine untergeordnete Rolle, da mit Altersbestimmungen, die sich am Grade der Knochenreife orientieren, eine etwa dreifach höhere Präzision zu erzielen ist.

Die Entwicklung der Zähne beginnt etwa in der 7. Embryonalwoche mit der Herausbildung der Zahnleisten. Die Mineralisation der Milchzahnfront (I; II; III) beginnt in der 17. Woche, die der Milchmolaren (IV, V) um die 20. Woche. Die Anlage der bleibenden Zähne 1-6 erfolgt etwa im 4. Monat. Postnatal kommt es innerhalb mehrerer Wochen zur Ausbildung der Neonatallinie, ein besonderer Retziusstreifen der Zahnhartsubstanz (50).

Kriterien für die Altersschätzung im Säuglings- und Kleinkindalter sind die Chronologie der 1. Dentition, die Ausbildung der Milchzahnkronen und die Mineralisation der Zahnkeime bleibender Zähne. Die 1. Dentition ist etwa mit 2,5 – 3 Jahren abgeschlossen (23).

Die 2. Dentition umfaßt das Alter von 6 – 12 Jahren mit dem Durchbruch der bleibenden Zähne wobei der Zahndurchbruch bei Mädchen ca. ein halbes Jahr früher als bei Knaben stattfindet (9). Nach Abschluß der 2. Dentition ist das Alter unter Berücksichtigung von funktionellen Veränderungen nur noch in Intervallen abschätzbar. Bei der Altersschätzung anhand des Dentitionsablaufes muß man jedoch mit nicht normgerechten Früh- und Spätzählern rechnen (21, 66).

Der dritte Molar (sog. Weisheitszahn) ist innerhalb der 2. Dentition der wohl variantenreichste Zahn. Nicht selten ist dieser Zahn erst gar nicht angelegt. So kann in 20% der Fälle aufgrund der Nichtanlage der dritten Molaren überhaupt keine Aussage zum Entwicklungsstand getroffen werden (26). Trotzdem gibt es Situationen, in denen man nur noch auf den Weisheitszahn als einziges Alterskriterium zurückgreifen kann. In diesen Fällen nutzt man hauptsächlich die Methode nach DEMIRJAN. Er stützt sich in der Altersschätzung auf den Mineralisationsstand der Kronen und Wurzeln des 3. angelegten Molaren. Diese Mineralisationsstadien (jeweils vier Kronen- und Wurzelstadien mit charakteristischen Formenveränderungen) sind von äußeren Einflußfaktoren unabhängig (9,10).

2.1.2. Altersbestimmung anhand biomorphotischer Veränderungen

Da das Gebiß im Laufe des Lebens einer erheblichen Abnutzung und Alterung durch das Kauen unterworfen ist, hat man versucht, regelmäßig auftretende biomorphotischen Veränderungen zur Altersschätzung heranzuziehen. Bereits 1889 beschrieb LACASSAGNE morphologische Veränderungen der Abnutzung der Zähne und nutzte diese zur Altersbestimmung (29). Die Kriterien Kauflächenabrasion, Sekundärdentinbildung, Zementapposition und Gingivaretraktion wurden erstmalig durch BODECKER (1925) zur Altersbestimmung herangezogen (5) und durch GUSTAFSON nach Untersuchungen an Zahnschliffen durch die Kriterien Wurzeltransparenz und Wurzelresorption ergänzt (19).

Abrasion

Die Abnutzung der Zahnhartsubstanz durch das Kauen wird als Abrasion, der Substanzverlust durch den jeweiligen Kontakt der Antagonisten wird als Attrition bezeichnet. BAUME untersuchte die Abrasion zur Altersbestimmung und ermittelte den in Tab. 2 dargestellten Zusammenhang zwischen Alter und Abrasion (3):

Bis zum 30. Lebensjahr	Abrasion auf den Schmelz beschränkt
Bis zum 40. Lebensjahr	Abrasion erreicht das Dentin, Farbe gelblich
Bis zum 50. Lebensjahr	Abrasion im Dentin, Farbe bräunlich
Bis zum 60. Lebensjahr	die gesamte Okklusalfäche ist abradiert, Farbe dunkelbraun
Bis zum 70. Lebensjahr	Abrasion erreicht die Pulpa, Farbe tiefbraun bis schwarz

Tab.2 Zusammenhang zwischen Alter und Abrasion modifiziert nach BAUME (3)

Bei der Altersschätzung historischer Skelettfunde mit starker Abrasion fand ZURTH eine enge Korrelation zum Alter (8). Im Gegensatz zu historischen Skelettfunden, bei denen wegen des exzessiven Zahnabschliffes die Abrasion sehr gut als Schätzkriterium für das Alter genutzt werden kann (DALITZ) (8), ist bei rezenten Gebissen die Abrasion so

gering, daß die von ENDRIS (1979) mitgeteilte und aus der historischen Anthropologie stammende Skalierung kaum nutzbar ist. Die individuell variable Härte der Zähne, die Bißlage und die Parafunktionen des Kauapparates beeinflussen den Ausprägungsgrad der Abrasion so unterschiedlich, daß die Abrasion als alleiniges Kriterium der Altersschätzung zu unsicher ist.

So schreitet z.B. bei einem Bruxisten (Knirscher) die Abrasion viel schneller voran, als bei einer anderen Person gleichen Alters, welche nicht unter diesem pathologischen Kaumuster leidet.

Veränderungen der Zahnfarbe

Die Zahnfarbe wird einerseits durch die gelbliche Eigenfarbe des Dentins, andererseits durch die Schmelzdicke sowie dessen Transparenz und Homogenität bestimmt (51). Auf Grund kolorimetrischer Untersuchungen der Zahnfarbe in unterschiedlichen Altersgruppen schlußfolgerte RHEINWALD (42), daß keine signifikanten altersabhängigen Farbunterschiede gefunden werden konnten.

Sekundärdentinbildung

Bei vitalen Zähnen kommt es posteruptiv zu einer Bildung von Sekundärdentin unter zunehmender Verengung des Pulpakavums, zur Abnahme des Lumens der Wurzelkanäle sowie zur Verengung des Foramen apicale. Diese Sekundärdentinbildung kann in eine physiologisch reguläre und eine irreguläre Dentinbildung unterteilt werden. Irreguläres Dentin, welches auf äußere Reizeinwirkung gebildet wird, heißt Tertiärdentin (49). In den meisten Veröffentlichungen über Zahnaltersbestimmungen wird nicht zwischen regulärem und irregulärem Dentin unterschieden, sondern lediglich vom Sekundärdentin gesprochen. Da diese Sekundärdentinbildung jedoch außer vom Alter auch noch von äußeren Faktoren (Trauma, Karies, Irritationen der Pulpa) abhängig ist, wird diese Sekundärdentinbildung zwar als Alterskriterium bestätigt, jedoch nur unter Hinzuziehung weiterer Merkmale. Diese Sekundärdentinbildung korreliert nach der Methode der Altersschätzung anhand der Wurzeltransparenz am zuverlässigsten mit dem Alter (35).

Zementapposition und Zementresorption

Auf das primäre, zellfreie Zement wird in der Gebrauchsperiode sekundärer, zellhaltiger Zement aufgelagert. Diese Auflagerungen von sekundärem Zement entstehen lamellenartig in Etappen und befinden sich vor allem in der apikalen Hälfte und in der Bifurkation mehrwurzeliger Zähne. Daher verdreifacht sich die Dicke der Zementschicht zwischen dem 11. und 76. Lebensjahr. Physiologische und pathologische Reize bedingen Apposition und Resorption und können dementsprechend Hyperzementosen und verschiedene Resorptionsformen induzieren.

Umstritten ist die Verwendung der Zementapposition und Wurzelresorption als Alterskriterium. Erstmalig beobachtete MAGITOT (1874) eine mit dem Alter zunehmende Verdickung der Zementschicht. GUSTAFSON bezog beide Merkmale in seine Altersberechnungen ein (20). HÜRZLELER und ZANDER wiesen auf einen linearen Zusammenhang hin (70), der jedoch durch andere Untersucher wie DAHLITZ und FREIHOFFER nicht bestätigt werden konnte, so daß der Grad der Zementapposition kein sicheres Kriterium zur Altersbestimmung darstellt (8).

Wurzeldentintransparenz

Die Ausprägung der Wurzeldentintransparenz ist eine der gebräuchlichsten Kriterien zur Altersschätzung und wird unter Kapitel 2.2. ausführlicher beschrieben.

2.1.3. Chemisch – physikalische Methoden der Altersbestimmung

Eine sehr genaue Möglichkeit der Altersschätzung ist die Bestimmung des Razemisierungsgrades von Asparaginsäure. Altersabhängig findet während des gesamten Lebens eine Transformation von L-Asparaginsäure in D-Asparaginsäure statt. Dabei wird der Razemisierungsgrad des Kronendentins nach Zerlegung in einzelne Blöcke bestimmt. Die Erstangabe dieser Untersuchungsmethode stammt von OGINO (1985) et al. (38). Falls nicht genügend Kronendentin zur Untersuchung vorhanden ist, können auch das Gesamtwurzeldentin und das säurelösliche Wurzeldentinprotein zur Bestimmung genutzt werden, da hier ein enger Zusammenhang zwischen dem Razemisierungsgrad von Asparaginsäure und dem Lebensalter besteht. Der Vorteil dieser Methode ist, daß diese

nach sehr langen postmortalen Intervallen genutzt werden kann, da postmortal keine nennenswerte Razemisierung mehr auftritt (43).

Mit dieser Methode wurden sehr genaue Ergebnisse der Altersschätzung mit einer Korrelation zum tatsächlichen Alter von $r=0,99$ ermittelt.

Der Nachteil der Methode besteht darin, daß es durch Einwirkung ungewöhnlich hoher Temperaturen ($\geq 37^{\circ}\text{C}$) zur Verfälschung der Ergebnisse kommen kann (46).

2.1.4. Altersschätzung anhand epidemiologischer Kriterien (DMF – Index)

Der international von der Zahnheilkunde akzeptierte DMF-Index gibt die durchschnittliche Häufigkeit kariöser (D=decayed), fehlender (M=missing) und restaurativ versorgter Zähne (F=filled) in einer Population an.

Durch Karies und Parodontopathien kommt es, unter Berücksichtigung biologischer und psychosozialer Aspekte, zu einer Reduzierung des Zahnbestandes, welche als grobes Schätzkriterium verwandt werden kann.

PAWLIK beurteilte das Alter von 90 Leichen anhand der Zahnzahl, des DMF- Indexes, des Parodontalzustandes und des Zungenbefundes. Als richtig wurde die Altersschätzung bewertet, wenn diese keine größere Abweichung von bis zu 5 bzw. 10 Jahren aufzeigte. In 30% der Untersuchungen wurde das Alter falsch geschätzt. In 15% der Fehlschätzungen lagen die Altersabweichungen zwischen 15 – 25 Jahren. Bei jüngeren Individuen erwies sich die Zahnzahl, bei älteren der DMF – Index als aussagekräftiger (39).

Auch ZURTH et al. wiesen in ihren Untersuchungen darauf hin, das der Zahnbestand und die Anzahl kariesgesunder Zähne brauchbarere Hinweise liefern, als die Anzahl der DMF-Zähne selbst (73).

Insgesamt ist die Beurteilung des DMF – Indexes schon aufgrund interindividueller Variabilität zur Altersschätzung wenig geeignet und eher als grobes Schätzkriterium zu betrachten.

2.1.5 Vergleich der konventionellen Methoden zur Altersschätzung

Welches der vorangestellten und in Tab 3. zusammengefaßten Verfahren Anwendung findet, wird maßgeblich durch die Fragestellung bestimmt, ob eine Altersschätzung am Lebenden oder am Toten durchgeführt werden soll.

Eine Altersbestimmung beim Lebenden dient häufig der verlässlichen Zuordnung zu einer Altersgruppe, um juristisch relevante Fragestellungen zu klären. Als Beispiele seien hier die Strafmündigkeit junger Straftäter (Alter > 14 Jahre, §19 StGB), das Alter jugendlicher Asylbewerber (Alter > 16 Jahre, §16 AsylVfG) und die Anwendbarkeit des Erwachsenenstrafrechtes bei jungen Straftätern (Alter >18 bzw. 21 Jahre, §1 und § 105 JGG) genannt. Den anwendbaren Methoden werden aus ärztlich-ethischen und rechtlichen Gründen enge Grenzen gesetzt, i.B. dann, wenn körperliche Eingriffe und radiologische Untersuchungen notwendig sind (44).

Eine Altersbestimmung beim Toten, an Skelett- oder einzelnen Zahnfunden dient häufig, wie in der Einleitung erwähnt, neben der Altersabschätzung auch der Identitätsermittlung.

Methode	Altersbereich ante u./o. postmortal	Zuverlässigkeit 95%-Vertrauensintervall	Autoren (Auswahl)
I. Gebißentwicklung	ante und postmortal		
• Entwicklung aller Zähne	< 14 Jahre	± 2 Jahre	Gustafson u. Koch (17)
• Erfassung der 3. Molaren	ca. 14 – 21 Jahre	$\pm 4 - 5$ Jahre	Saunders et al. (47) Demirjan et al. (9) Köhler et al. (26)
II. Zahnmorphologie	ante und postmortal		
• Makroskopisch	jedes Alter	nur grobe Einordnung	Endris (12)
• Wurzeltransparenz und kombinierte Verfahren	≥ 20 Jahre (nur postmortal)	≥ 10 Jahre	Bang und Ramm (2) Gustafson (20);
III. DMF – Index	ante und postmortal	nur grobe Einordnung	Pawlik (39)
	jedes Alter	$\pm 10 - 15$ Jahre	
IV: Biochemische Methoden			
• Razemisierungsgrad der Asparaginsäure	ante und postnatal jedes Alter	$\pm 3 - 8$ Jahre ± 6 Jahre (Dentinbiopaten)	Ogino et al. (38) Ritz-Timme (46)

Tab. 3 Konventionelle Methoden der Altersbestimmung an Zähnen: Einsatzmöglichkeiten, Zuverlässigkeit mit Angaben des 95%-Vertrauensintervalles in Jahren sowie Literaturhinweise modifiziert nach RITZ-TIMME

Im Kindes- und Jugendalter lassen morphologische Verfahren, die sich auf die Gebißentwicklung stützen, eine sehr zuverlässige Altersbestimmung zu. Zuverlässigste Methode ist dabei die radiologische Erfassung der Gebißentwicklung (47).

Im Altersbereich zwischen 14 und 21 Jahren, gegen Abschluß der Wachstumsperiode, kann noch der radiologisch beurteilbare Entwicklungsstand der Weisheitszähne zur Altersschätzung herangezogen werden. Wegen der Variabilität der Weisheitszahnentwicklung ist die Zuverlässigkeit der Altersschätzung geringer als im Kindes- und Jugendalter aber mit einem 95%- Vertrauensintervall von $\pm 4-5$ Jahren immer noch sehr gut (26).

Im Erwachsenenalter, nach Abschluß der Wachstumsperiode, erlauben makroskopische Verfahren einschließlich des DMF-Indexes nur eine grobe Alterszuordnung. In dieser Altersgruppe können morphologische Zahnmerkmale an extrahierten Zähnen gut zur Altersschätzung herangezogen werden. Im nachfolgenden Kapitel soll auf die Wertigkeit der Wurzelidentintransparenz näher eingegangen werden.

Besonders in dieser Altersgruppe gilt die Bestimmung des Razemisierungsgrades von Asparaginsäure als Methode der Wahl, da einerseits bei einem 95%-Vertrauensintervall eine Streubreite von $\pm 3-8$ Jahren angegeben wird und andererseits auch eine Bestimmung an Dentinbiopaten Lebender möglich ist (37,45).

2.2. Die Methode der Wurzelidentintransparenzmessung zur Altersschätzung

Die Transparenzzone im Wurzelidentin wurde erstmalig 1861 durch TOMES beschrieben (62). MILLER prägte nach Untersuchungen an Zahndünnschliffen den Begriff Wurzelidentintransparenz (36).

Das Transparenzphänomen ist ein Umbau- bzw. Anpassungsvorgang des Dentins, welches an eine vitale Pulpa-Dentineinheit gebunden ist. Im Verlauf der Dentinogenese entsteht zunächst das Manteldentin parallel zur Schmelz- Dentinegrenze bzw. zur Dentin-Zementgrenze. Danach wird durch die Odontoblasten das zirkumpulpale Dentin gebildet, welches sich zwischen Pulpa und Manteldentin erstreckt und die Hauptmasse des Dentins darstellt. Peripher beginnt zunächst die Mineralisation des Manteldentins, bis eine durchgehende mineralisierte Schicht entstanden ist. Mit zunehmendem Alter kommt es zur

Verdickung des peritubulären Dentins und somit zur Verkleinerung und zunehmenden Obliteration der Dentinkanälchen. Die entstandene organische Matrix wird zunehmend mineralisiert, wobei der Mineralisierungsgrad des peritubulären Dentins dabei höher ist als der des intertubulären Dentins. Diese zunehmende Sklerosierung bzw. Mineralisierung bedingt einen Ausgleich der unterschiedlichen Brechungsindizes der Dentinegrundsubstanz und der Dentinkanälchen (52). Daher erscheint sklerosiertes Dentin homogen und durchsichtig. Die Dentinsklerosierung ist ein physiologischer Alterungsvorgang, tritt jedoch auch als Abwehrreaktion auf. Die altersbedingte Zunahme sklerosierter Dentinanteile beginnt im Wurzelbereich apikal und peripher entlang der Zement-Dentinegrenze und nimmt mit steigendem Alter an Intensität und Ausdehnung in koronaler Richtung und pulpawärts zu (32). Die Ausmessung der Wurzelentintransparenz kann quantitativ erfaßt werden, indem die Distanz zwischen Wurzelspitze und der am weitesten nach koronal reichenden Grenze der Transparenzzone entlang der Wurzelachse (von ganzen Zähnen bzw. Zahnhalbschliffen) bestimmt wird. BANG und RAMM sehen in diesem physiologischen Transparenzphänomen ein gutes Kriterium zur raschen Altersschätzung von Individuen, die nicht jünger als 20 Jahre sind (2).

Auch PILZ; REIMANN UND KRAUSE charakterisieren das Transparenzphänomen als wichtiges Merkmal für die Schätzung des Lebensalters, da es kaum von pathologischen Einflüssen bestimmt wird (41).

Nachdem BODECKER (5) bereits 1925 die Kriterien Abrasion, Reizdentinbildung, Zementapposition und parodontale Veränderungen zur Altersschätzung herangezogen hatte, erarbeitete GUSTAFSON (1950) ein komplexes Verfahren, indem er die in Tab. 4 aufgeführten 6 Merkmale zur Altersschätzung heranzog (19):

• Kauflächenabrasion	A	• Apposition von Wurzelzement	C
• Sekundärdentinbildung	S	• Wurzelresorption	R
• Zustand des Parodontiums	P	• Wurzeltransparenz	T

Tab. 4 Merkmale zur Altersschätzung an Zähnen nach GUSTAFSON (8)

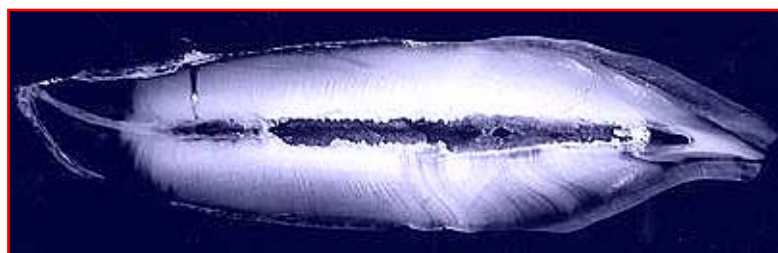
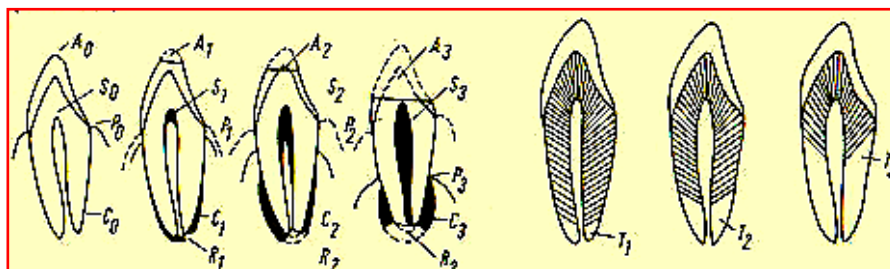


Abb. 4 Zahnschliff mit Wurzeltransparenzzone im apikalen Bereich links im Bild

Nachdem vor der Zahnextraktion eine makroskopische Beurteilung der morphologischen Veränderungen erfolgte, wurde durch GUSTAFSON am ca. 1 mm messenden Zahndünnschliff die Transparenzbestimmung durchgeführt. Nach Herstellung von ca. 0,25 mm Dünnschliffen erfolgte die Einbettung in Kanadabalsam. Jedes der in Tab. 4 aufgeführten Kriterien wurde in einem System mit 4 Stadien (0 bis 4) der Altersveränderungen gegliedert, welches in Tab.5 und Abb. 4 zusammengefaßt dargestellt ist. Die ermittelte Punktezahl ($An+Sn+Pn+Cn+Rn+Tn$) wurde zum Alter unter Annahme einer linearen Regressionsgerade [$y(\text{Alter}) = 11,43 + 4,56 x$] in Beziehung gesetzt, wobei der Korrelationskoeffizient 0,98 bei einer Standardabweichung von $\pm 3,6$ Jahren betrug.

Merkmal	Index	1	2	3
Abrasion	A	Abrasion im Schmelz	Freilegung des Dentins	Abkauung bis zum Pulpakavum
Dystrophische Veränderungen	P	freiliegender Zahnhals	Entblößung des koronalen Wurzeldrittels	Entblößung des koronalen und mittleren Wurzeldrittels
Anbau von Sekundärdentin	S	geringer Anbau im Bereich der Pulpahörner	Ausfüllung des Kavums der Kronenpulpa	weitgehende oder vollständige Ausfüllung des gesamten Pulpakavums
Anbau von Zement	C	überdurchschnittliche Zementschicht	starke Zementschicht	erhebliche Zementschicht
Wurzelresorption	R	kleine Lakunen im Zement	größere Substanzverluste	großflächige Substanzverluste im Zement und Dentin
Transparenz	T	gerade wahrnehmbar	apikales 1/3 betroffen	apikales und mittleres 1/3 betroffen

Tab. 5 Kriterien der Altersschätzung anhand des 4-Punkteindex nach GUSTAFSON (19)
Der Index 0 bezieht sich dabei auf nicht erfaßbare morphologische Altersveränderungen.



**Abb. 5 Einteilung der Altersveränderungen in 4 Stadien (links)
Bestimmung der Transparenzzonen der Wurzel (rechts)
nach GUSTAFSON (19).**

GUSTAFSON empfahl zur Untersuchung möglichst einwurzelige Zähne zu verwenden, da die Prämolaren und Molaren ungenauere Resultate liefern (18).

DALITZ modifizierte die Methode von Gustafson, indem er zur Verbesserung der Trennschärfe die Ausprägung der Altersveränderungen in 5 Grade unterteilte. Dabei schätzte er das Alter von 29 Verstorbenen aus Australien (14 – 76 Jahre) durch die Beurteilung der Abrasion (A), des Parodontalbefundes (P), der Reizdentinbildung (R) sowie der Wurzeltransparenz (T) ausschließlich an Frontzähnen. Nach Ermittlung der Regressionsgleichung ($y[\text{Alter}] = 5,146x A + 5,338x P + 1,866x R + 8,441x T + 8,691$) ermittelte er eine Schätzgenauigkeit von $\pm 7,8$ Jahren (8). Er verzichtete dabei auf die Parameter Wurzelresorption und Zementapposition, da diese nur unzureichend mit dem Alter korrelieren (8).

BANG und RAMM (1970) zogen zur Altersschätzung die Ausdehnung der Wurzeltransparenz an intakten Zähnen heran. Sie untersuchten sowohl 1013 nicht aufgearbeitete Zähne als auch eine repräsentative Anzahl von Zahnlängsschliffen.

Die Bestimmung der Wurzeltransparenz erfolgte mittels eines Meßschiebers mit einer Genauigkeit von 0,5 mm unter Verwendung einer standardisierten Lichtquelle. Bei Mehrfachbestimmungen von Zähnen einer Person wurde eine ähnliche Ausdehnung der Transparenz ermittelt. Die am besten mit dem Alter korrelierenden Werte wurden an einwurzeligen Zähnen ermittelt, wobei bessere Korrelationskoeffizienten an den einwurzeligen Oberkieferzähnen gegenüber den einwurzeligen Zähnen des Unterkiefers bestimmt wurden. In 58,3 % der untersuchten Zähne wurde eine Schätzgenauigkeit von $\pm 4,5$ Jahren und in 79,2 % eine Genauigkeit mit einer Schwankungsbreite von 9 – 10 Jahren ermittelt. Am Schliffpräparat war die Transparenz deutlicher sichtbar, die

Ausdehnung jedoch ungenauer erfaßbar. Zusammenfassend schlußfolgerten BANG und RAMM, daß die alleinige Messung der Wurzeltransparenz am intakten Zahn eine einfache und reproduzierbare Methode der Altersschätzung sei. Dabei sei es unerheblich, ob es sich um Zähne Lebender oder Verstorbener oder männlichen und weiblichen Geschlechts handelt. Unterschiede zwischen dem rechten oder linken Quadranten bestehen nicht (2).

JOHANSON (1971) modifizierte die Gustafson'sche Methode, indem er neben einem 7 – Punkte Bewertungssystem erstmalig die multiple Regressionsanalyse einführte (20). Für die Altersschätzung unter Berücksichtigung aller Bestimmungsmerkmale ermittelte er einen Korrelationskoeffizient von 0,92 bei der Standardabweichung von $\pm 5,2$ Jahren. Als zuverlässigstes Alterskriterium wurde die Wurzeltransparenz ermittelt (25).

SOLHEIM (1993) untersuchte nur jeweils einen Zahn je Individuum und benutzte die multiple Regression, so daß Faktoren ausgeschlossen wurden, die nicht signifikant waren. An 1000 Zähnen bzw. an Zahnhalbschliffen bestimmte er die Merkmale Attrition, Parodontalschwund, Farbe, Ungleichmäßigkeiten der Wurzeloberfläche, Wurzeltransparenz, Zementdicke und Sekundärdentin (21). Die beste Alterskorrelation wurde für die ersten Oberkieferschneidezähne (Zahnformel 11,12) mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,91 bestimmt. Die Altersbestimmung am zweiten Oberkieferprämolaren erfolgte am intakten Zahn und zeigte mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,84 ebenfalls eine gute Korrelation zum Alter (57).

Den Einfluß pathologischer Veränderungen am Zahn anhand der Gustafson'schen Methode untersuchten KEIL und WINTGEN. Sie konnten nachweisen, daß Zahnlockerungen, Zahnbeläge, parodontale Veränderungen, Pulpaveränderungen und röntgenologische Auffälligkeiten die Obliteration der Dentinkanälchen nicht beeinflussen (69).

REINWARTH und KUHL (1987) untersuchten den Einfluß des Diabetes mellitus hinsichtlich der altersbezogenen Ausprägung der Wurzeldentintransparenz. An 41 Zähnen von 29 Diabetikern wurden Transparenzmessungen durchgeführt und entsprechende Regressionsgeraden ermittelt. Sie konnten eine stärkere Ausdehnung der Wurzeldentintransparenz verglichen mit einer altersentsprechenden Kontrollgruppe

nachweisen. Entscheidend für diese Zunahme war4n das Manifestationsalter und weniger die Dauer der Erkrankung (41).

ZURTH et al. (1996) führten forensisch-odontologische Altersschätzungen an 50 unbekannten Toten nach Bekanntwerden des tatsächlichen Alters und der Identität anhand entwicklungsbiologischer und epidemiologischer Schätzkriterien durch (73). Als richtig wurden nur Übereinstimmungen innerhalb einer Spanne von maximal 10 Jahren gewertet. Bei 52 % wurde das tatsächliche Alter innerhalb des Zeitintervalles von 10 Jahren richtig geschätzt. Eine Überschätzung erfolgte in 34 % der Fälle, in 14 % wurde das tatsächliche Alter unterschätzt. In der Auswertung ihrer Ergebnisse wiesen die Untersucher darauf hin, daß entwicklungsbiologische Kriterien (Dentition, dritte Molaren, Transparenz, Abrasion) im Jugendalter und im frühen Erwachsenenalter brauchbare Hinweise liefern. Epidemiologische Kriterien erwiesen sich im mittleren und höheren Erwachsenenalter als brauchbar. Dabei sollte die Wurzeldentintransparenz nicht als alleiniges Leitkriterium benutzt werden, da diese sich als wenig zuverlässig erwies. Im Jugend- und frühen Erwachsenenalter sind die oberen ersten Prämolaren, im frühen Erwachsenenalter die Zähne des Oberkiefers und im mittleren und höheren Erwachsenenalter die Zähne des Unterkiefers hinsichtlich der Altersschätzung mittels der Wurzeldentintransparenz besonders aussagefähig (73).

2.3. Die Methode der Fluoridkonzentrationsbestimmung in der Zahnhartsubstanz zur Altersschätzung

2.3.1. Struktur und Zusammensetzung von Dentin und Schmelz

Ausgereifter Zahnschmelz ist das am stärksten mineralisierte und härteste Zellprodukt im menschlichen Körper. Seine Zusammensetzung und Eigenschaften unterscheiden sich deutlich von denen des Dentins, des Wurzelzements und des Knochens (1). Tab. 6 und Abb. 6 verdeutlichen die unterschiedliche Gewichtsprozentverteilung der organischen Matrix und des Mineralgehaltes. Die organische Matrix (4 %) des ausgereiften Schmelzes besteht vorwiegend aus löslichen und unlöslichen Proteinen und wenig Kohlenhydrat- und Lipidanteilen. Der größte Teil dieser Matrix entfällt auf das innere Drittel des Schmelzmantels. Die Aminosäurezusammensetzung der Proteine im reifen Schmelz besteht überwiegend aus Asparaginsäure, Serin und Glycin.

Der kristalline Anteil des Schmelzes enthält vorwiegend Kalzium, Phosphat mit geringen Anteilen von Natrium, Magnesium, Chlor und Kalium. Röntgendiffraktionsanalysen zeigen, daß das Schmelzmineral überwiegend als Hydroxylapatit $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6[\text{OH}]_2$ vorliegt, dessen Hydroxylgruppen durch Fluorid oder Chlorid substituiert werden können. Der Magnesiumgehalt nimmt mit steigendem Alter zu (30).

Struktur	Schmelz	Dentin	Zement	Knochen
Mineral	95%	70%	61%	45%
org. Matrix	1%	20%	27%	30%
Wasser	4%	10%	12%	25%

Tab. 6 Zusammensetzung von Schmelz, Dentin, Zement und Knochen in Gewichtsprozent (1)

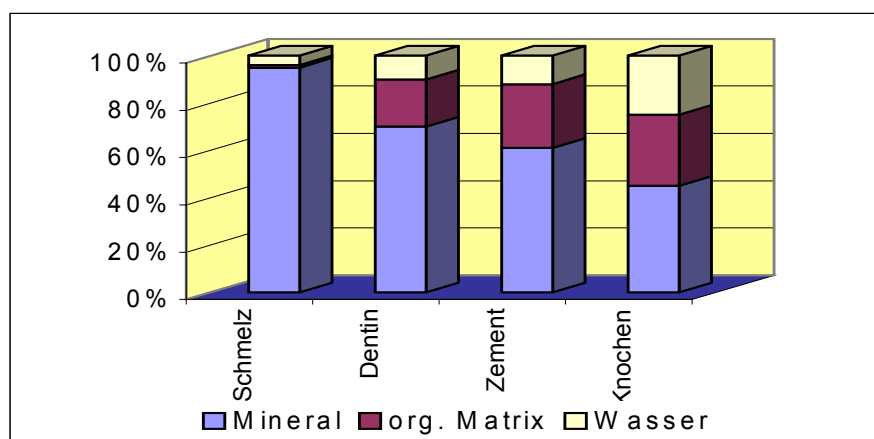


Abb. 6 Graphische Darstellung der Zusammensetzung in Gewichtsprozent

Fluoride kommen regelmäßig aber in sehr variablen Mengen im Schmelz vor. Die höchste Fluoridkonzentration findet sich stets in der oberflächlichsten, etwa 50 µm dicken Schmelzschicht, in welcher zwischen 300 und 1200 ppm Fluorid gefunden werden. Tiefere Schmelzschichten enthalten etwa 20fach weniger Fluorid. Der Fluoridgehalt des Schmelzes schwankt jedoch stark in Abhängigkeit von der exogenen Zufuhr von Trinkwasser, Nahrung, Zahnpasta und der Durchführung zahnärztlicher Prophylaxebehandlungen u.ä. Der Kalzium-, Phosphat-, Chlorid- und Fluoridgehalt sind in tieferen Schmelzschichten allgemein niedriger als an der Schmelzoberfläche (66). Die unterschiedliche Fluoridkonzentration im Schmelz verdeutlicht Abb. 7.

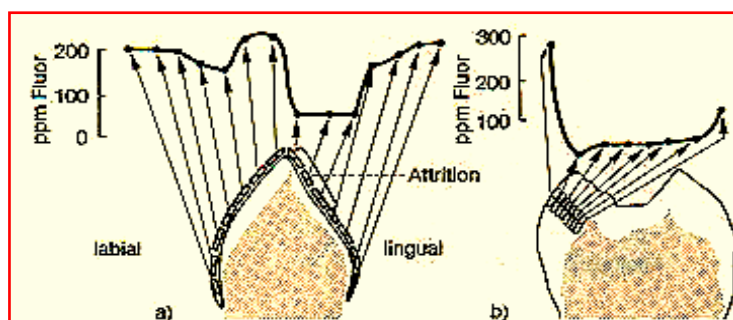
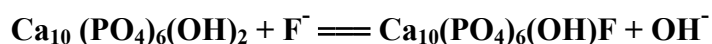


Abb.7 Fluoridkonzentration der Schmelzschicht eines Eckzahnes (a) und eines nicht durchgebrochenen 3. Molaren (b) modifiziert nach WEATHERELL

Die mineralisierte Hartsubstanz Dentin bildet die Hauptmasse des Zahnes und ähnelt in seiner Zusammensetzung dem Wurzelzement und dem Knochen, unterscheidet sich aber stark vom Schmelz. Die organische Matrix besteht zu 91-92 % aus Kollagen und zu 8–9 % aus nicht kollagener Grundsubstanz. Der Mineralanteil des Dentins enthält im wesentlichen Kalzium und Phosphat. Neben geringen Mengen an Karbonaten und Magnesium enthält Dentin eine Reihe von Spurenelementen, von denen Fluorid, Blei und Zink höhere Konzentrationen an der pulpanahen als an der schmelznahen Oberfläche erreichen. Der Magnesium- und Zinkgehalt des Dentins nimmt mit dem Alter zu (30). Auch der Fluoridgehalt steigt mit dem Alter an, bedingt durch die posteruptive Fluoridaufnahme und den Einbau von Fluoriden in das Dentin. Die Härte des Dentins ist größer als die des Knochens oder des Wurzelzementes jedoch geringer als die des Zahnschmelzes.

2.3.2. Fluoridkonzentration in der Zahnhartsubstanz

Der Fluoridstoffwechsel des Menschen ist insgesamt gut untersucht. Es ist bekannt, daß aus dem Trinkwasser 86 – 97 % und aus der festen Nahrung etwa 75 – 80 % der Fluoridverbindungen (meist als gut lösliches Natriumfluorid) im Magen-Darm-Trakt resorbiert werden. Nach schneller Verteilung im Blut (Serumkonzentration 0,25 – 1,0 µmol) wird ein Fluoridspiegel im Körper dadurch erreicht, daß die Fluoride einerseits im Knochen bzw. in dem Zahnhartgewebe gespeichert werden und andererseits ein Teil ausgeschieden wird. Dieser Speicherungsprozeß beruht in erster Linie auf der sukzessiven Substitution der Hydroxylionen im Kristallgitter des Hydroxylapatits (siehe nachfolgende Gleichung), welches in der Hauptsache die Mineralsubstanz des Körperhartgewebes darstellt.



Durch Trinkwasser und Nahrung werden in der Regel kontinuierlich Fluoride zugeführt, so daß es zu einer zeitabhängigen Anreicherung in der Körperhartsubstanz kommt.

Nach BÜTTNER ist eine positive Fluoridbilanz während der Wachstumsphase, in der das Skelett und die Zahnhartsubstanz über 50 % des Fluorids speichern, anzunehmen (siehe Abb.8). Es dauert jedoch mehrere Jahre, bis ein Fluoridgehalt erreicht wird, der in Abhängigkeit vom Alter und vom Fluoridangebot in der Größenordnung von 500 bis 4000mg F⁻ liegt. Ausgeglichen ist die Fluoridbilanz meist nach Wachstumsende und beim Erwachsenen, wenn zwischen resorbiertem, aus der Hartsubstanz mobilisiertem und ausgeschiedenem Fluorid ein Gleichgewicht besteht (6).

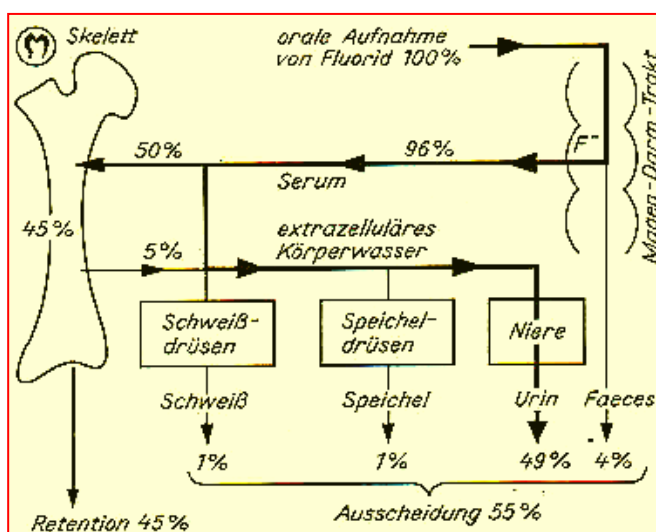


Abb. 8 Fluoridstoffwechsel mit positiver Fluoridbilanz nach Büttner
F⁻ wird aufgenommen und in der Hartsubstanz eingelagert (6).

Auch im Zahnschmelz kommt es zu einer Substitution der OH-Gruppen durch Fluoridionen, wodurch auch eine Stabilisierung der Kristallstruktur erreicht wird. Die höchste Fluoridkonzentration besteht an der Schmelzaußenseite, niedrigere Fluoridkonzentrationen finden sich in tieferen Segmenten, zur Dentinegrenze steigt die Konzentration wieder an (siehe Abb. 7). Im Zuge der prä- und posteruptiven Schmelzmaturation kommt es zu einem deutlichen Anstieg der F^- -Konzentration. Eine Alterskorrelation wie im Dentin besteht jedoch nicht (58, 64).

Dentin besitzt wie Zement und Knochen eine kollagene Matrix, die auch während des Mineralisationsprozesses erhalten bleibt. Die Apatitkristalle des Dentins sind kleiner und weniger kristallisiert als im Schmelz. Aufgrund der größeren Aufnahmefähigkeit der Apatitkristalle, der tubulären Struktur im Dentin und des höheren Wasseranteils im Dentin ist die Kapazität der Fluoridaufnahme wesentlich größer als im Schmelz (66). Bei bleibenden Zähnen nimmt daher der durchschnittliche Fluoridgehalt kontinuierlich in Abhängigkeit vom Fluoridangebot zu (siehe Abb. 9).

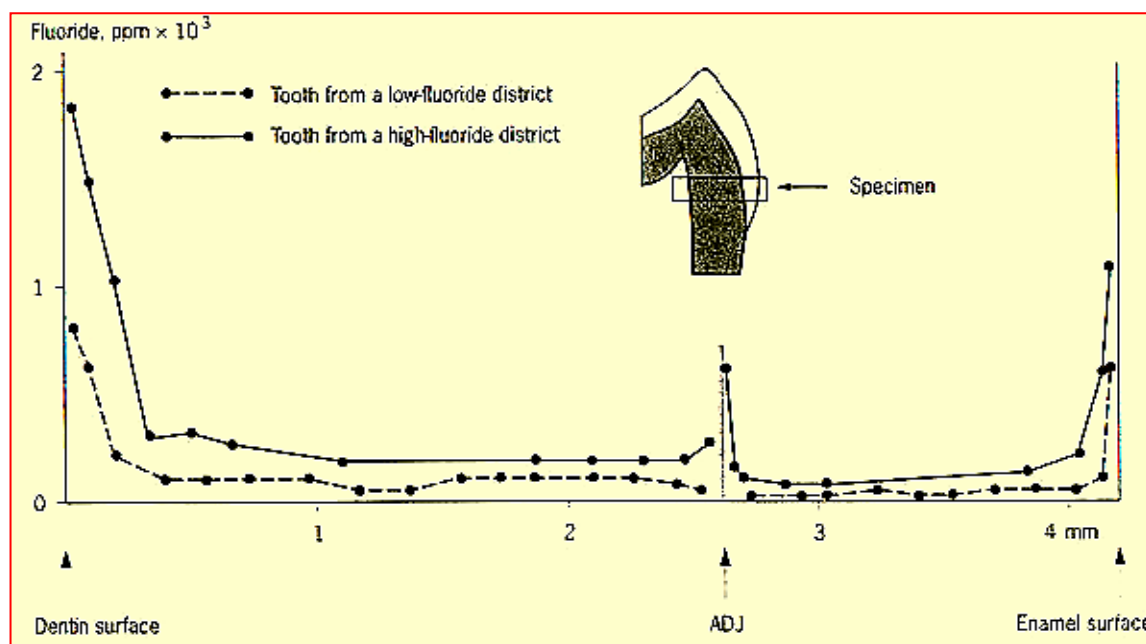


Abb. 9 Fluoridkonzentration im Dentin und Schmelz in Abhängigkeit der Trinkwasserfluoridkonzentration nach NAKAGAKI und WEATHERELL (64)

Dabei verdeutlicht Abb. 9, daß die Fluoridkonzentration im zentralen Dentin relativ konstant ist, um jedoch an den Grenzschichten, besonders jedoch pulpanah, anzusteigen. Die durchschnittliche Konzentration der Fluoride im Dentin, welche wesentlich von der Fluoridzufuhr über das Trinkwasser abhängt, ist ein komplizierter Prozeß von Fluoridresorption aber auch Fluoridabgabe, der hauptsächlich an der pulpanahen

Dentinzone stattfindet. Die Fluoridkonzentration steigt hier während der Anlage und des Durchbruches der bleibenden Zähne am stärksten an, fällt aber im höheren Alter bei vermehrter Fluoridresorption auch stärker ab. Da an dieser pulpanahen Zone auch zeitlebens eine Sekundärdentinbildung erfolgt, ist eine kontinuierliche Aufnahme in Abhängigkeit von der Fluoridkonzentration im Blut möglich. Im Zahnquerschnitt ist dagegen die Fluoridkonzentration im Inneren des Dentins relativ konstant (siehe Abb. 9).

In sehr jungem Dentin, Primär- oder Sekundärdentin, ist nach WEATHERELL et al. daher die Fluoridkonzentration niedriger als in älterem Dentin, in welchem lange Zeit Fluoride in die kollagene Matrix bzw. in das Apatitgerüst aufgenommen wurde (66).

2.3.3. Die Altersabhängigkeit der Fluoridkonzentration im menschlichen Hartgewebe

Während WEIDMANN (1959) eine gleichbleibende Fluoridkonzentration im menschlichen Knochen (siehe Abb. 10) ab dem 45. Lebensjahr (67) und ELLIOT et al. ungefähr ab dem 60. Lebensjahr ermittelten (11), nahmen andere Untersucher wie GLOCK (1941), CALL et al. (1958), SINGER (1969) und WEATHERELL einen linearen Zusammenhang an (16, 53, 65).

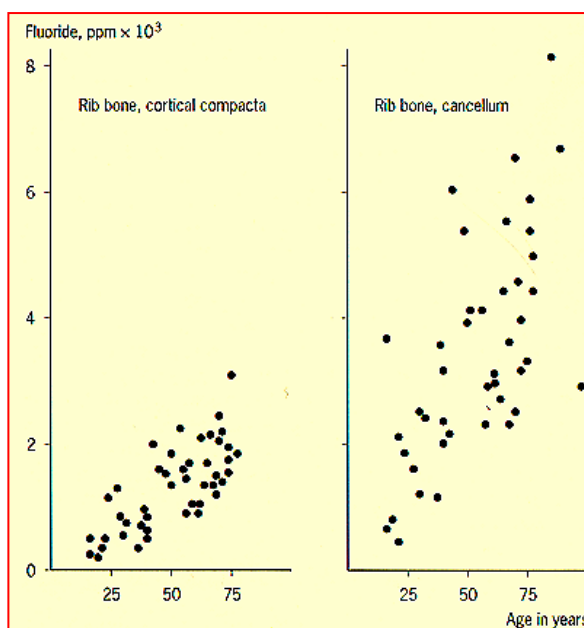


Abb. 10 Fluoridkonzentration in der Corticalis bzw. Spongiosa menschlicher Rippenknochen in Abhängigkeit vom Alter bei einer F⁻-Konzentration von ≤ 0,1 ppm im Trinkwasser nach WEIDMANN (67)

STEINECKE et al. (1986) führten sehr umfangreiche Fluoridbestimmungen unter der Fragestellung der Altersabhängigkeit an Zähnen durch. Nach Erarbeiten eines

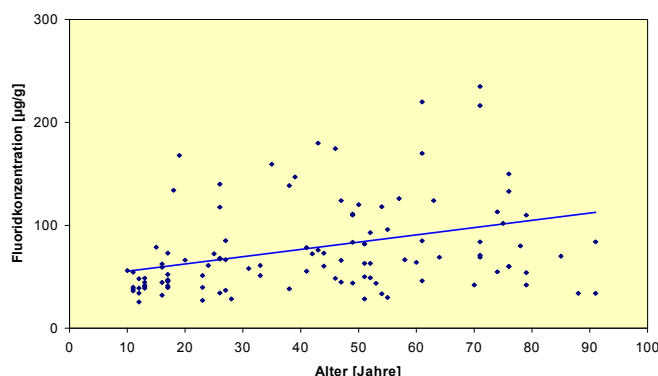


Abb. 11 Fluoridkonzentration im Schmelz in Abhängigkeit vom Lebensalter nach STEINECKE et al. (58)

standardisierten Präparationsverfahren zur Trennung von Schmelz und Dentin ermittelten sie die Fluoridkonzentrationen von an zunächst 112 Zähnen (58).

Im Schmelz konnte dabei nach Ermittlung der Regressionsgeraden $[y = 48,5 + 0,31 x]$ mit einem Korrelationskoeffizienten r von 0,31 ein nur geringer stochastischer Zusammenhang zwischen der Fluoridkonzentration und dem Lebensalter gefunden werden (38). Ursächlich wurde hier die schon dargestellte sehr differente Fluoridkonzentration im Schmelz diskutiert. Im Dentin konnte jedoch eine lineare Abhängigkeit mit einer Standardabweichung von ± 5 bis 10 Jahren nachgewiesen werden (58).

In weiteren untersuchten sie die Fluoridkonzentration im Dentin an 352 Zähnen (176 Zähne männlicher und 176 Zähne weiblicher Personen). Nach Ermittlung der Regressionsgeraden $[y = -2,11 + 5,60 x]$ und einem Korrelationskoeffizienten $r = 0,8$ konnte ein stochastischer Zusammenhang zwischen dem Lebensalter und der Fluoridkonzentration angenommen werden (59).

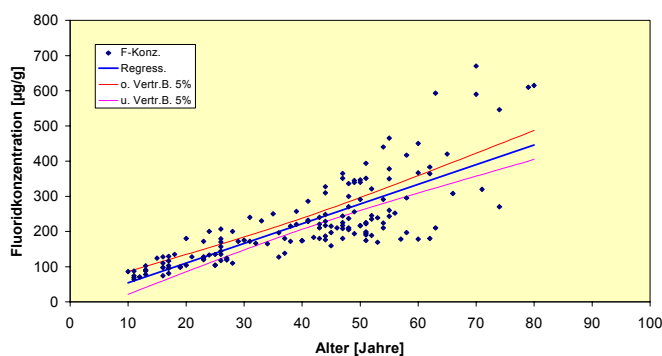


Abb. 12 Fluoridkonzentration im Dentin in Abhängigkeit vom Lebensalter bei einer Trinkwasserfluoridkonzentration bis 0,3 ppm nach STEINECKE et al. (59)

2.4. Zielstellung der Arbeit

Während die Wurzelidentintransparenzmessung eine konventionelle Methode der Altersschätzung darstellt, ist die Altersbestimmung anhand der Messung der Fluoridkonzentration der Zähne noch ungebräuchlich. Bisher ist lediglich bekannt, daß es einen altersabhängigen Anstieg der Fluoridkonzentration im Dentin gibt. Es wurde jedoch nicht untersucht, ob sich dieser Zusammenhang zu einer verlässlichen Altersschätzung eignet.

Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit ist es, durch die Untersuchung einwurzeliger Zähne die Anwendbarkeit dieser Methoden in verschiedenen Altersklassen herauszuarbeiten sowie ihre Genauigkeit in der Altersschätzung zu untersuchen. Dabei soll eine Differenzierung der einwurzeligen Zähne in verschiedene Zahngruppen erfolgen (Oberkiefer: Insicivi, Canini, 2. Prämolaren; Unterkiefer: Insicivi, Canini, Prämolaren) und zusätzlich untersucht werden, ob bei der Fluoridbestimmungsmethode geschlechtsspezifische Unterschiede berücksichtigt werden müssen.

Ein Hauptanliegen dieser Arbeit ist der Methodenvergleich der Altersschätzung anhand der Bestimmung der Fluoridkonzentration im Dentin mit der Methode der Messung der Wurzelidentintransparenz. Dabei ist die Transparenzmessung als Vergleichsmethode besonders eignet, da sie am umfangreichsten untersucht wurde und trotz widersprüchlicher Kritik als einfache und relativ schnell durchführbare Methode gilt.

3. Experimenteller Teil

3.1. Material und Methoden

3.1.1. Untersuchungsmaterial

Zur Auswertung gelangten von 169 Zähnen **160** Zähne in einem Altersbereich von 16 bis 85 Jahren, die bei **84** männlichen und **76** weiblichen Personen extrahiert wurden. Die Zähne wurden aus 6 zahnärztlichen Praxen in Erfurt, Bad Hersfeld, Mihla und Köln zusammengetragen. Von den zahnärztlich versorgten Patienten, deren Zähne aus unterschiedlichen Gründen extrahiert wurden, sind durch den Arzt bzw. den Patienten folgende Angaben durch den in Abb. 13 dargestellten Fragebogen erfasst worden:

<u>Fragebogen bei extrahierten Zähnen</u>		
Extrahierter Zahn:	<input type="text"/>	
Grund der Zahnextraktion	
Datum:	
1. Alter des Patienten:	<input type="text"/>	
2. Geschlecht	m <input type="checkbox"/>	w <input type="checkbox"/>
3. Wohnort (i.B. der letzten 10 Jahre):	
4. beruflicher Kontakt mit Fluoriden:	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>
5. regelmäßiger Zahnarztbesuch:	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>
6. regelmäßiges Zähneputzen mit fluoridhaltiger Zahncreme:	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>
7. Wurden Fluoridtabletten als Kind oder später eingenommen: Dosis und Dauer der Einnahme:	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>
8. IP beim Zahnarzt regelmäßig durchgeführt:	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>
9. Besteht eine chronische Nieren- oder Knochenkrankung?	ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>
Welche?	

Abb. 13 Fragebogen zu jedem extrahierten Zahn

Sämtliche Angaben zur Person einschließlich des Wohnortes, zu bestehenden chronischen Erkrankungen, zum Trinkwasserfluoridgehalt, zu den Ernährungsgewohnheiten sowie zur Einnahme fluoridhaltiger Präparate und zur Anwendung fluoridhaltiger Zahnpflegemittel ermittelten wir gezielt. Die Daten wurden mit Einwilligung des Patienten und nach Zustimmung der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der FSU Jena vom 29. April 1999 anonym gesammelt und ausgewertet. Es wurden nur diejenigen Zähne in die Untersuchungen einbezogen, die den in Tab. 7 zusammengefaßten Einschußkriterien genügten:

- Die vollständige Erfassung der Daten des Fragebogens (Abb.13).
- Die Probanden sollten in den letzten 10 Jahren vor der Extraktion in dem angegebenen Trinkwasserfluoridgebiet (TWG 1: bis 0,3 ppm F⁻) gelebt haben.
- Die Probanden sollten nicht an chronischen Erkrankungen bzw. Stoffwechselerkrankungen gelitten haben.
- Es sollte keine zusätzliche Fluoridexposition stattgefunden haben.

Tab. 7 Einschußkriterien für die Bestimmung der Fluoridkonzentration an extrahierten Zähnen zur Altersbestimmung

Durch Befragung der örtlichen Wasserwerke bzw. Hygieneinstitute konnten die entsprechenden Trinkwasserfluoridkonzentrationen ermittelt werden. Die Trinkwasserfluoridgebiete können nach Steinecke et al. (59) in 3 Konzentrationsbereiche eingeteilt werden.

Einteilung der Trinkwasserfluoridgebiete (TWG):

TWG 1: bis 0,3 ppm F⁻ (nicht fluoridiertes Wasser, über 90% der BRD)

TWG 2: 0,31 – 0,60 ppm F⁻ (Mischwasser)

TWG 3: 0,61 – 1,00 ppm F⁻ (fluoridiertes Trinkwasser)

Wir berücksichtigten aber nur Probanden, die im Trinkwasserfluoridgebiet 1 (TWG 1) zumindest während der letzten 10 Jahre gelebt hatten.

Zur Untersuchung wurden deshalb nur einwurzelige Zähne (Schneidezähne, Eckzähne sowie einwurzelige Pämolare) verwendet, da mehrwurzelige Zähne bei der Transparenzmessung ungenauere Resultate liefern.

Die Mehrzahl der Zähne zeigten keine oder geringfügige kariöse Veränderungen. Während im jüngeren Alter bis zum 30. Lebensjahr die Extraktion vordergründig aus kieferorthopädischer Indikation erfolgte, waren im höheren Alter parodontologische Erkrankungen und im hohen Alter prothetische Restaurationen Ursachen der Extraktion. Die Zusammenfassung erfolgte in Altersgruppen von jeweils 5 Jahren, wobei die Zähne nach dem Two-Digit-System bezeichnet wurden. Die Anzahl der Zähne sind geordnet nach Altersgruppe und Zahntyp in Tab.8 und ihre prozentuale Verteilung sind in Abb. 14 wiedergegeben. Jede Altersgruppe war durch mindestens 10 Zähne repräsentiert.

Altersgruppe	Anzahl der Zähne	Oberkiefer			Unterkiefer		
		Inc.	Can.	Präm.	Inc.	Can.	Präm.
16 - 20	10	2	2	1	1	2	2
21 - 25	11	1	2	2	1	3	2
26 - 30	14	2	2	3	2	2	3
31 - 35	12	1	1	4	1	1	4
36 - 40	10	2	2	1	1	2	2
41 - 45	12	2	2	2	2	2	2
46 - 50	13	1	2	3	1	2	4
51 - 55	12	2	2	3	3	1	1
56 - 60	10	2	2	2	1	1	2
61 - 65	13	3	2	1	2	3	2
66 - 70	12	2	1	2	3	2	2
71 - 75	11	2	3	1	1	2	2
76 - 80	10	1	2	2	2	2	1
81 - 85	10	3	1	1	2	2	1
	160	26	26	28	23	27	30

Tab.8 Verteilung der untersuchten Zähne geordnet nach Altersgruppen, Anzahl und Zahntyp

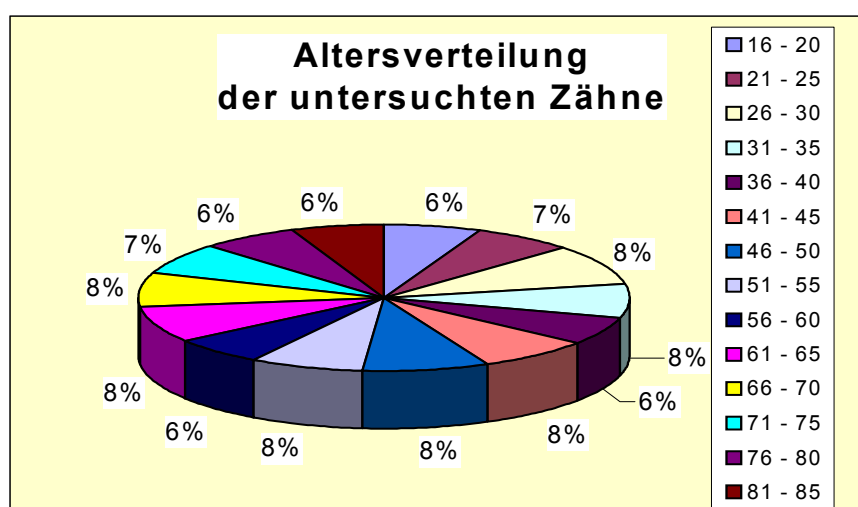


Abb. 14 Prozentuale Verteilung der untersuchten Zähne geordnet nach Altersgruppen (Legende re. im Bild)

Die Zähne wurden nach der Extraktion mit 10% -iger Wasserstoffperoxidlösung gereinigt, getrocknet und anschließend in verschlossenen braunen Gläsern numeriert trocken gelagert. Im Untersuchungsablauf erfolgte zunächst die Bestimmung der Wurzelidentintransparenz am intakten Zahn und nach entsprechender Aufarbeitung die der Fluoridkonzentration im Dentin.

3.1.2. Bestimmung der Wurzelidentintransparenz

KRAUSE et al. untersuchte zur Altersschätzung an 2178 Zähnen die Wurzeltransparenz am intakten Zahn. Um die Transparenzgrenze am intakten Zahn hinreichend genau bestimmen zu können, forderten sie eine Beleuchtungsstärke von > 1000 Lux (27). Bei unseren durchgeführten Untersuchungen zur Ermittlung der Transparenz fand deshalb ein Overhead-Projektor (3M[®]) Anwendung, dessen Beleuchtungsstärke in drei Stufen zwischen 1000 und 2500 Lux variiert werden konnte (siehe Abb. 16). Das Sichtfeld konnte durch lichtundurchlässiges schwarzes Fotopapier eingegrenzt und ein lichtdurchlässiges Präzisionslineal mit einer Skalierung von 0,5 mm auf das Sichtfeld aufgebracht werden. Die Transparenzstrecken wurden mit einem Stechzirkel erfaßt, so daß eine Genauigkeit von ca. 0,5 mm gewährleistet wurde. Diese Bestimmungsmethode hatte aber nur orientierenden Charakter.

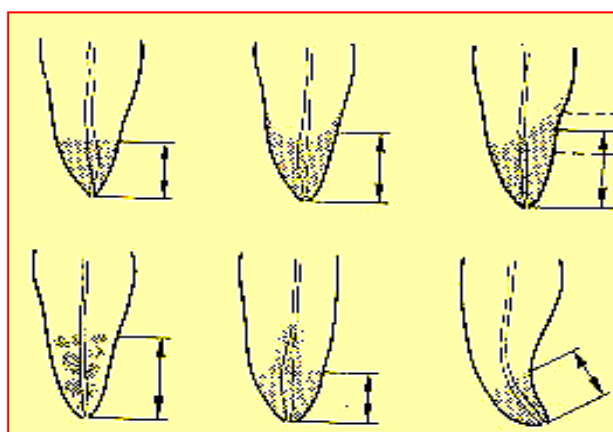


Abb. 15 Definition der Meßstrecken bei unterschiedlichen Transparenzgrenzen intakter Zähne nach SCHARF (27, 48)

In der Definition der Meßstrecken bei unterschiedlich verlaufenden Transparenzgrenzen nutzten wir die von SCHARF (48) sowie KRAUSE und REIMANN (27) empfohlenen Bestimmungen der Transparenzgrenzen (siehe Abb. 15).

Die Ermittlung der Transparenzgrenze erfolgte immer auf der gedachten Mittellinie des Zahnes zwischen der Transparenzgrenze und der apikalen Wurzelspitze. Zentrale Aufhellungen und indifferente transparente Randzonen konnten so ausgeschlossen werden.



Abb. 16 Wurzeltransparenz zweier am Overheadprojektor durchleuchteter Schneidezähne

Unsere Messungen erfolgten möglichst immer an der mesialen und damit an der dem Untersucher zugewandten Seite des Zahnes. Es wurde zunächst eine orientierende Messung bei geringer und danach eine weitere Messung bei größerer Beleuchtungsstärke durchgeführt.



Abb.17 Transparenzgrenze am Durchlichtmikroskop mit gut sichtbarer Wurzeltransparenz rechts

Eine zweite, präzisere Messung erfolgte mit einem Durchlichtmikroskop (Carl Zeiss) mit zugehöriger Meßeinrichtung. Das Mikroskop wurde mit einem Objektmikrometer 5:100 geeicht. Mit 10,71-facher Vergrößerung wurde dann die Transparenz bestimmt (Abb. 17). Dabei entsprach ein Teilstrich $77\text{ }\mu\text{m}$, 1mm sind folglich 13 Einheiten, wobei eine Einheit $0,077\text{ mm}$ entspricht. Ausgewertet wurden aber nur die Ergebnisse am Mikroskop, da hier eine exaktere Meßstreckenbestimmung möglich war.

Bei schwer definierbaren Transparenzzonen eines Zahnes wurde jede Seite einzeln bestimmt und anschließend der Mittelwert gebildet.

Von ursprünglich 169 Zähnen mußten 9 Zähne aufgrund von nicht definierbaren Transparenzzonen von den weiteren Untersuchungen ausgeschlossen werden.

Die Mittelwerte der Wurzelidentintransparenz sind tabellarisch zusammengefaßt und die Abhängigkeit zwischen Alter und Wurzelidentintransparenz graphisch dargestellt worden. Die Einzelwerte für jeden Zahn sind der Anlage (Seite 78 - 81) zu entnehmen.

3.1.3. Bestimmung der Fluoridkonzentration im Dentin

3.1.3.1. Bestimmung des Fluoridgehaltes mittels fluoridsensitiver Elektroden

Die Bestimmung des Fluoridgehaltes kann mittels Mikro- als auch Makromethoden erfolgen. Gewichtsanalytische Verfahren zur Fluoridbestimmung scheiden wegen des hohen Substratbedarfes bei der Bearbeitung biologischen Materials aus.

Kolorimetrische Verfahren ermöglichen eine automatische Fluoridbestimmung mit geringen subjektiven Fehlermöglichkeiten und hoher Genauigkeit.

Enzymatische Methoden (z.B. mit Leberesterasen) erlauben Fluoridbestimmungen im Nanogrammbereich (34).

Erst mit der Entwicklung ionensensitiver Elektroden Ende der 60-er Jahre gelang in der Analytik der Fluoridbestimmung der entscheidende Durchbruch (33). Besonders im klinisch-chemischen Labor hat sich die direktpotentiometrische Bestimmung mittels Lantanfluorideinkristallelektroden (LaF) durchgesetzt. Mit diesen ist die direkte Fluoridbestimmung in unterschiedlichen Proben wie im Wasser, in Abwässern, aber auch in biologischen Materialien wie im Serum, im Urin und nach entsprechender Aufarbeitung auch im Knochen, im Zahnschmelz und letztendlich im Dentin möglich.

Eine ionensensitive Elektrode stellt eine elektrochemische Halbzelle dar. Taucht eine Elektrode in einen Elektrolyten ein, so bildet sich an der Phasengrenze Elektrode/Elektrolyt eine Potentialdifferenz aus, die von der Aktivität des zu messenden Elektrolyten abhängig ist. Die Besonderheit von ionensensitiven Elektroden besteht in ihrer hohen Selektivität, die durch entsprechende Ionenfilter bedingt ist. Die zu messende Potentialdifferenz ist von der Aktivität und damit von der Konzentration des zu bestimmenden Ions abhängig und folgt der Nernst'schen Gleichung:

$$E = E_0 - R \cdot T / F \times \ln a_F \quad \text{bzw.} \quad E_{25^\circ\text{C}} = E_0 - 0,059 \lg a_F$$

Die Vorteile der LaF- Elektroden sind in der nachfolgenden Tab. 9 zusammengefaßt:

- hohe Selektivität
- hohe Empfindlichkeit bei einem großen Meßbereich (10^0 bis 10^{-7} mol/l F)
- Anzeigestabilität (+/- 2 mV pro Woche)
- hohe Präzision (s= 0,1% bis 5% je nach Konzentration)
- geringes benötigtes Meßvolumen (0,0001 bis 1ml)
- geringe Anschaffungskosten
- großer Betriebstemperaturbereich (-5^0 C bis 100^0 C)

Tab.9 Analytische Merkmale der LaF--Elektroden

3.1.3.2. Methode der Fluoridbestimmung im Dentin

Die mit 10% -iger Wasserstoffperoxidlösung gereinigten Zähne wurden nach Ermittlung der Dentintransparenz für 3 Stunden in einem Trockenschrank bei 150° C getrocknet. Um Schmelz und Dentin trennen zu können, erfolgte danach das Erhitzen der Zähne für 5 Stunden bei 550° C in einem Muffelofen. Unmittelbar nach dem Abkühlen wurden Zahnschmelz und Dentin mechanisch voneinander getrennt. Der sehr spröde weißgraue Zahnschmelz läßt sich sehr gut vom weniger spröden und bräunlich gefärbten Dentin trennen. In Abb. 18 und 19 sind zwei Zähne nach dem Erhitzen dargestellt.



Abb. 18



Abb. 19

Nach dem Glühvorgang ist der spröde und weiße Schmelz gut vom bräunlichen Dentin zu unterscheiden und daher zu trennen.

Nach mechanischer Trennung von Schmelz und Dentin fand nur das Dentin des Kronenbereiches bzw. das Dentin des Überganges zwischen Krone und Wurzel weitere Verwendung. Das Dentin wurde in einer Kugelmühle 5 Minuten zu einem feinen Pulver gemahlen. Anschließend erfolgte die Einwaage von 30 mg pulverisierter Asche in einem Polyäthylenröhrchen, welche mit 1 ml 1 M Perchlorsäure und 5 ml 1M

Natriumacetatlösung (komplexgesättigt) versetzt wurde. Dadurch wurde die Bildung der leicht flüchtigen Fluorwasserstoffsäure vermieden und zugleich konnte der pH-Arbeitsbereich von 5,1 bis 5,6 der Elektrode eingestellt werden. Nach kurzem Rühren konnte die Fluoridelektrode mit der Referenzelektrode (Abstand ca. 3mm) in die Probelösung getaucht und die Konzentration am Meßgerät abgelesen werden.



Abb. 20 Meßkette mit Ionenmeter, Fluorid- und Referenzelektrode jeweils rechts im Bild

Voraussetzung zur Messung mit einer fluoridsensitiven Elektrode ist die Kalibrierung. Nach Herstellung von 6 Standardfluoridlösungen (0,1; 0,5; 1,0; 2,0; 10; 50 ppm) war eine 6 Punktekali­brierung mit dem Ionenmeter pMX 3000/pH (WTW®) für eine nicht streng lineare Eichkurve erforderlich. Nach Abschluß der Eichung und nach Erstellung der Eichkurve wurde die Steilheit der Elektrode geprüft, die bei 58,3 mV liegt (Abb. 21).

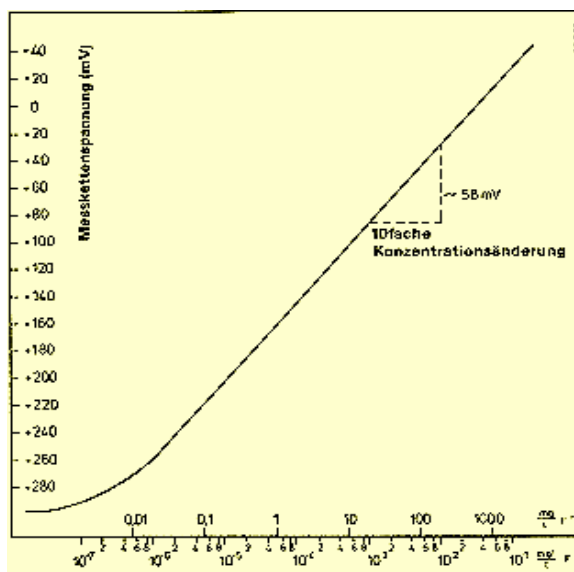


Abb.21 Eichkurve der F^- -Elektrode
(Abszisse log. Achse cF^- [mol/l], Ordinate Spannung [mV])

Nach Abschluß der Kalibrierung erfolgte die Bestimmung der Fluoridkonzentration für jede Probe, wobei die Konzentration (ppm) mit dem o.g. Meßgerät nach Kalibrierung direkt abgelesen werden konnte. In der Regel wurden 2 bis 3 Messungen pro Probe durchgeführt und danach der Mittelwert gebildet. Dabei lag die Streuung der Meßwerte einer Dentinprobe unter 1%.

Nach 14 Tagen erfolgte eine neue Kalibrierung. Anhand der geprüften Elektrodensteilheit konnte eine gleichbleibende Konstanz dieser festgestellt werden (58,2 – 58,8 mV).

Nach Ermittlung der Fluoridkonzentration in der Meßprobe war die Umrechnung bezogen auf 1g Asche notwendig:

$$C_{F^-} [\mu\text{g/g Asche}] = \frac{6 \times C_{F^-} [\mu\text{g}]}{0,03 [\text{g}]}$$

Der Faktor 6 ergibt sich aus der sechsfachen Verdünnung, der Divisor 0,03 aus der Einwaage von 30 mg Asche. Nach jeder Messung war die Reinigung beider Elektroden mit Aqua bidestillata notwendig.

3.1.3.3. Geräte und Chemikalien

Zur Probenvorbereitung kamen folgende Geräte zum Einsatz:

- | | |
|------------------------------|---------------------------------------|
| • Mikrofeinwaage MP 20 | WTW GmbH Weilheim |
| Feinmechanische Werkstätten | |
| Freiberg | |
| • Wärmeschrank WS 31 | • Silber/Silberchloridelektrode SE 10 |
| MLW Labortechnik Ilmenau | Forschungsinstitut Meinsberg |
| • Achat Kugelmühle KM 1 | • Fluoridsensitive Elektrode |
| Zentrifugenbau Engelsdorf | Ingold Messtechnik AG |
| • Standard-ph/Ionenmeter pMX | • Bohrmaschine mit Mikromotor und |
| 3000/pH | Bohrhandstück |
| | Karl Storz GmbH Tuttlingen |

Für die Erstellung einer Bezugskurve und die Probenvorbereitung wurden folgende Chemikalien benutzt:

- Natriumfluorid (NaF) reinst zur Analyse
Chemiewerk Nünchritz
- Komplexon III reinst zur Analyse
Berlinchemie Adlershof
- Natriumacetat- 3 –Hydrat reinst zur Analyse
Laborchemie Apolda
- Perchlorsäure z.A. Merck GmbH
- NaF- Standardlösung: 221,1 mg NaF auf 1l H₂O bidest
- Natriumacetatlösung: 136,1 g mit Komplexon III gesättigt

3.2. Mathematisch - statistische Auswertung

Die Altersschätzung durch Ermittlung der Wurzelidentintransparenz am intakten Zahn gilt als einfache, relativ schnell durchführbare Methode, die den aufwendigen Messungen an Zahnhalbschliffen hinsichtlich ihrer Genauigkeit nicht nachsteht. Trotz der exakten Definition der Transparenzgrenzen ist die Längenmessung durch den Untersucher mit subjektiven Fehlern behaftet. REIMANN und KRAUSE empfehlen daher, daß jeder Untersucher eine eigene Regressionsgerade aufstellt (28).

Ausgehend von der Aufgabenstellung dieser Arbeit, die Methode der Ermittlung der Wurzelidentintransparenz einerseits und die Fluoridbestimmung im Dentin andererseits an einwurzeligen Zähnen gegenüberzustellen, war es angezeigt, folgende mathematisch-statistische Verfahren einzusetzen:

- eine Korrelations- und Regressionsanalyse zunächst aller Zähne, wobei das Alter als Funktion der Transparenz bzw. des Fluoridgehaltes dargestellt wurde,
- der Vergleich von linearer und quadratischer Regression für beide Methoden,
- eine Korrelations- und Regressionsanalyse der einzelnen Zahntypen (Canini, Incisivi etc.).
- eine Korrelations- und Regressionsanalyse der für das Gesamtuntersuchungsgut der Zähne von weiblichen und männlichen Probanden für die Fluoridbestimmungsmethode.

3.2.1. Mathematisch – statistische Vorbetrachtungen

Die Datenerfassung und die statistische Auswertung erfolgten mittels dem Statistikprogramm SPSS 10.0 für Windows. Die graphischen Darstellungen sind mittels Excel 97 erstellt worden.

Korrelationskoeffizient

Der Korrelationskoeffizient r ist ein Maß für die stochastische Abhängigkeit zwischen den beiden Merkmalsvariablen x und y . Sein Wert kann zwischen -1 und $+1$ variieren:

$$-1 \leq r_{xy} \leq +1$$

Beträgt der absolute Wert 1, so sind die beiden Veränderlichen voneinander abhängig. Es liegt eine streng lineare Abhängigkeit vor.

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}}$$

Bestimmtheitsmaß

Das Quadrat des Korrelationskoeffizienten r^2 bezeichnet man als Bestimmtheitsmaß. Die Größe r^2 beschreibt den Anteil der durch die Regressionsgerade erklärten Summe der Abweichungsquadrate an der totalen Summe der Abweichungsquadrate (Abweichung des Beobachtungswertes vom geschätzten Wert). Das Bestimmtheitsmaß sagt weiterhin aus, wieviel Prozent der Gesamtstreuung sich aus der Veränderung von einem Merkmal durch eine lineare Regression erklären läßt. Je größer das Bestimmtheitsmaß ist, desto straffer ist der Zusammenhang zwischen der Zielgröße (Alter) und Einflußgröße (Transparenz bzw. Fluoridkonzentration).

Regressionsanalyse

Die Regressionsanalyse beruht auf der Annahme, daß die Werte der Einflußgröße, z.B. Transparenz bzw. die Fluoridkonzentration, festgesetzt werden und nur die Zielgröße (Alter) Zufallsvariationen aufweist. Die Regressionsgerade $y = a + bx$ ist diejenige Gerade, die sich der ermittelten Punkteverteilung am besten anpaßt, d.h. die Summe der Quadrate der Abweichungen von der angenommenen Gerade ist minimal.

Die Regression I. Ordnung stellt eine lineare Funktion dar, deren Funktionsgleichung wie folgt beschrieben werden kann:

$$y = a + bx$$

y = Zielgröße, abhängige Variable (Alter)

x = Einflußgröße, unabhängige Variable (Wurzeldentintransparenz bzw. F^- Konzentration)

a = Regressionskonstante (=Schnittpunkt mit der y -Achse)

b = Regressionskoeffizient (=Anstieg der Regressionsgeraden)

Die Regressionsfunktion II. Ordnung ist eine quadratische Funktion und stellt graphisch eine Parabel dar.

Funktionsgleichung: $y = b_0 + b_1x + b_2x^2$

Standardabweichung

Die mittlere quadratische Abweichung vom Mittelwert wird als Varianz bezeichnet und die Wurzel der Varianz als Standardabweichung. Unter Reststandardabweichung wird die Genauigkeit der Übereinstimmung zwischen dem ermittelten Wert y_i und dem auf der Regressionsgeraden liegenden Schätzwert y_i verstanden.

$$S = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

Konfidenzintervall und Irrtumswahrscheinlichkeit

Die Irrtumswahrscheinlichkeit α gibt an, mit welcher Fehlerwahrscheinlichkeit der zu erwartende Wert im Konfidenzintervall bzw. Vertrauensbereich liegt. Das Vertrauensmaß oder Konfidenzniveau $(1-\alpha)$ zeigt, daß bei $\alpha = 5\%$ mit einer Sicherheit von 95% jeder der ermittelten Werte im Vertrauensbereich oder Konfidenzniveau liegt. Je größer α gewählt wird, um so wahrscheinlicher ist es, daß der entsprechende gesuchte Wert innerhalb des Konfidenzniveaus liegt.

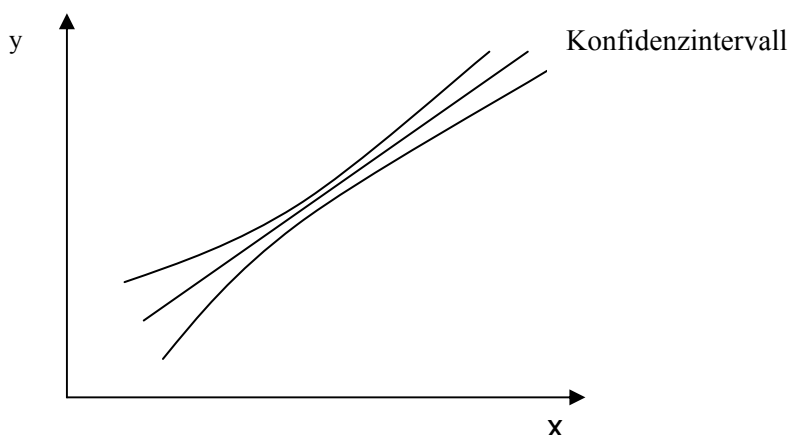


Abb.22 Schematische Darstellung der Regressionsgeraden und des Konfidenzintervalles

4. Ergebnisse

4.1. Darstellung der Einzelergebnisse

4.1.1. Ergebnisse der Bestimmung der Wurzelidentintransparenz

Von insgesamt 169 einwurzeligen Zähnen war die Bestimmung der Wurzelidentintransparenz an 160 Zähnen möglich. Die ermittelten Meßstrecken lagen zwischen 0,4 mm und 13 mm.

Altersgruppe [Jahren]	Mittelwerte der Transparenz [mm]	Standard- abweichung	Differenz zwischen den Altersgruppen [mm]	Anzahl der Zähne n
16 - 20	1,33	0,88		10
21 - 25	2,37	0,55	1,04	11
26 - 30	2,75	0,6	0,38	14
31 - 35	3,95	0,69	1,2	12
36 - 40	4,08	0,73	0,13	10
41 - 45	4,16	0,7	0,08	12
46 - 50	4,82	0,7	0,66	13
51 - 55	5,5	0,95	0,68	12
56 - 60	6,25	0,56	0,75	10
61 - 65	6,78	0,64	0,53	13
66 - 70	7,43	0,63	0,65	12
71 - 75	8,72	1,07	1,29	11
76 - 80	8,96	1,24	0,24	10
81 - 85	9,68	1,86	0,72	10
				Σ 160

Tab. 10 Mittelwerte und Standardabweichung der Transparenzbestimmung sowie Differenz der Mittelwerte zwischen den jeweiligen Altersgruppen

9 Zähne (6%) ließen keine exakten Transparenzbestimmungen zu. Dabei zeigte sich bei einem 17-jährigen (Zahnformel 32), bei einem 26-jährigen (Zahnformel 13) sowie bei einem 52-jährigen Probanden (Zahnformel 25) keinerlei Transparenzzeichen am intakten Zahn. Eine diffuse nicht definierbare Transparenz wurde bei drei Zähnen ermittelt (Zahnformel 33, Alter 46 J.; Zahnformel 45, Alter 72 J.; Zahnformel 15, Alter 81 Jahre).

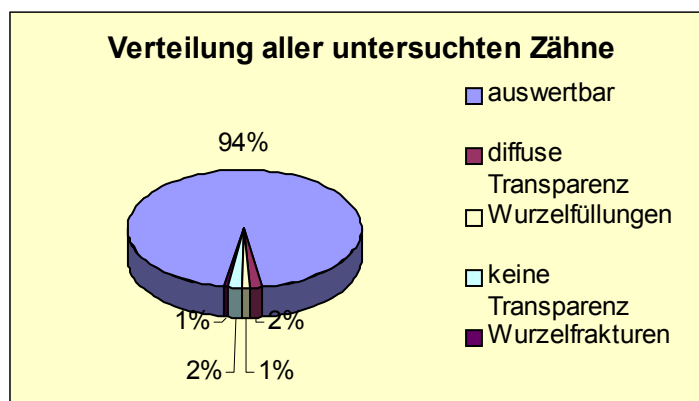


Abb. 23 Prozentuale Verteilung der auswertbaren und nicht nutzbaren Zähne

Zwei Zähne waren aufgrund von Wurzelfüllungen (Zahnformel 13, Alter 29 J.; Zahnformel 44, Alter 63 J.) und ein Zahn durch eine Wurzelfraktur nicht mehr auswertbar und wurden auch nicht mehr in die weiterführende Fluoridbestimmung einbezogen (Abb. 23).

Die graphische Darstellung des chronologischen Lebensalters als Funktion der Transparenz aller Zähne erfolgte in Abb. 25. Die Abb. 26 – Abb. 28 stellen anhand der Einzelergebnisse das Lebensalter als Funktion der Transparenz für die einzelnen Zahnarten dar.

Bei dem Vergleich der Einzelwerte (Anlage Seite 78 - 81) und der Mittelwerte der zu jeweils 5 Jahren zusammengefaßten Altersgruppen verdeutlicht Tab. 10 und Abb. 24, daß sich die Wurzeldentintransparenz bereits zwischen dem 16. und 20. Lebensjahr herausbildet. Der Mittelwert der Transparenz (in mm) betrug in dieser Altersgruppe 1,33 mm bei einer Standardabweichung von 0,88. Da sich nach dem 20. Lebensjahr die Transparenz wesentlich deutlicher ausprägt, war deshalb im Vergleich der Mittelwertdifferenzen zwischen den Altersgruppe 16 – 20 und 21 – 25 Jahren die größte Mittelwertdifferenz nachweisbar. Nach dem 21. Lebensjahr zeigte sich ein kontinuierlicher Zuwachs der Transparenz. In den Altersgruppen zwischen dem 66. – 70. und 71. – 75. Lebensjahr fand sich wiederum eine deutliche Zunahme der Mittelwertdifferenz.

Bis zum 20. Lebensjahr sind jedoch auch erhebliche Schwankungen möglich. So differierte die ermittelte Transparenz bei zwei 16-jährigen Probanden um 1 mm. Bei Zähnen von jüngeren Untersuchten mit geringer Wurzeldentinstärke besteht neben der sehr variablen Ausbildung der Transparenz auch die Schwierigkeit, Aufhellungen an der Wurzelspitze exakt von dem Transparenzphänomen zu unterscheiden. Während sich zwischen dem 21. und dem 70. Lebensjahr ein kontinuierlicher Zuwachs der Transparenz fand, war im hohen Lebensalter (zwischen 76. und 85. Lebensjahr) ein geringerer Zuwachs bei wesentlich

größerer Standardabweichung nachweisbar. Das deutete neben dem geringeren Zuwachs auch auf eine wesentlich größere Streuung der Einzelwerte hin, welche sich auch bei der Einzelwertüberprüfung bestätigte.

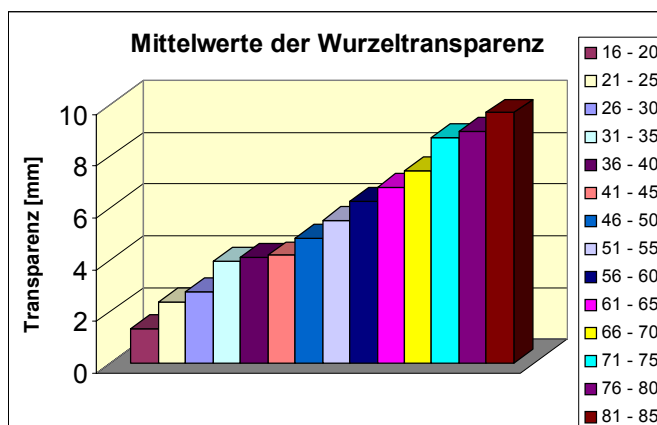


Abb. 24 Mittelwerte der Transparenz geordnet nach Altersgruppen

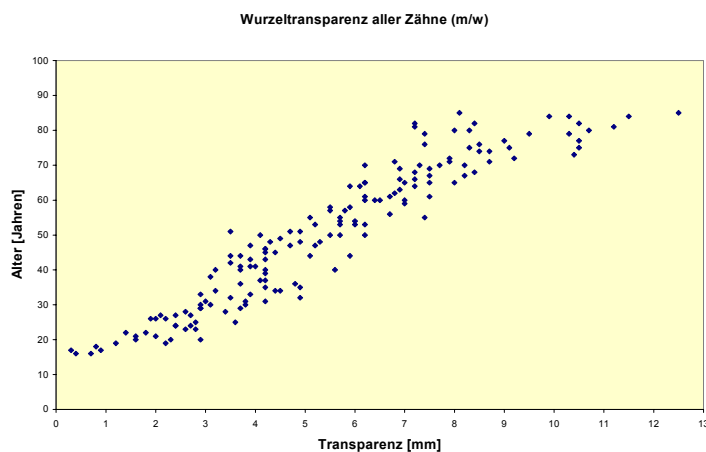


Abb.25 Lebensalter als Funktion der Transparenz aller untersuchten Zähne (m/w)

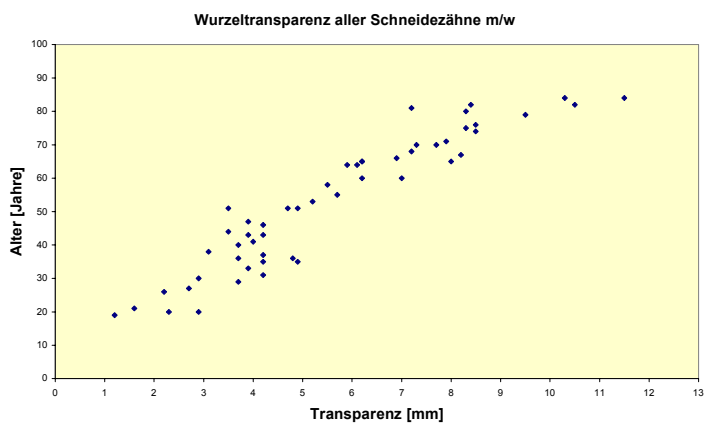


Abb. 26 Lebensalter als Funktion der Transparenz aller Incisivi (m/w)

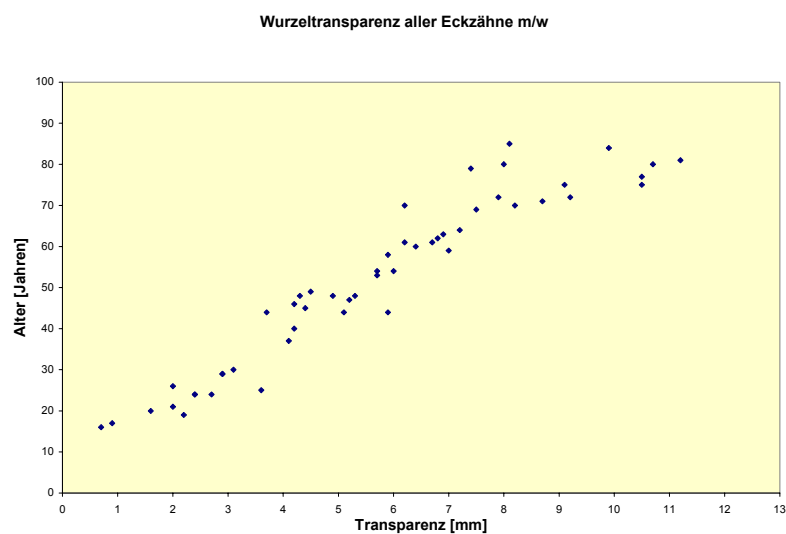


Abb. 27 Lebensalter als Funktion der Transparenz aller Eckzähne (m/w)

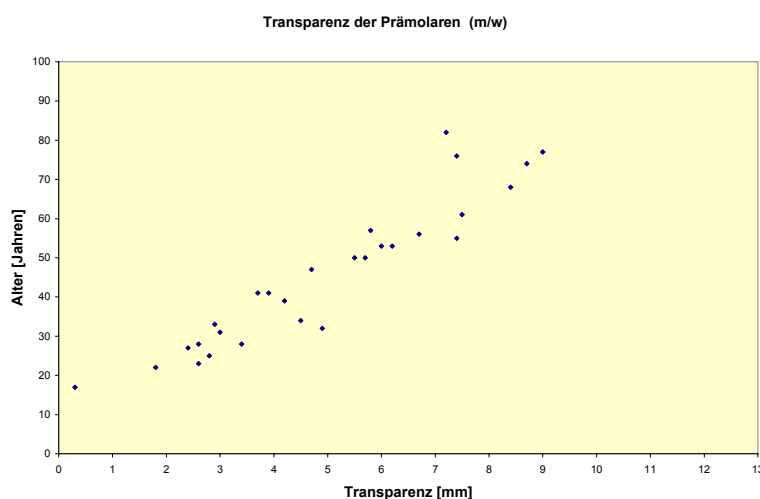


Abb. 28 Lebensalter als Funktion der Transparenz der Prämolaren m/w

4.1.2. Ergebnisse der Fluoridbestimmung im Dentin

Damit ein schlüssiger Vergleich beider Methoden der Altersbestimmung erfolgen kann, wurden zur Fluoridbestimmung nur diejenigen Zähne ausgewählt, an denen auch die Transparenzbestimmung zur Altersschätzung möglich war. Das war bei 160 einwurzeligen Zähnen der Fall. Überwiegend konnte das Kronendentin in ausreichender Menge gewonnen werden (30 mg), nur wenn sehr wenig Kronendentin zur Messung zur

Verfügung stand, wurde auch das angrenzende Wurzelentin mitverwandt. Die sorgfältige Trennung von Schmelz und Dentin bzw. Dentin und Zement konnte bei der jeweiligen Aufbereitung gewährleistet werden, so daß eine Separation der einzelnen Zahnabschnitte hinreichend möglich war.

Alters-Gruppe [Jahren]	Mittelwerte der Fluoridkonzentration [µg/g]	Standard- abweichung	Differenz zwischen den Alters- gruppen [µg/g]	Anzahl der Zähne n
16 - 20	107,09	16,41		10
21 - 25	128,94	24,02	21,85	11
26 - 30	154,88	22,27	25,94	14
31 - 35	185,99	35,25	31,11	12
36 - 40	194,04	31,78	8,05	10
41 - 45	217,4	34,1	23,36	12
46 - 50	245,35	19,49	27,95	13
51 - 55	267,71	29,26	22,36	12
56 - 60	294,39	36,16	26,68	10
61 - 65	319,86	26,26	25,47	13
66 - 70	341,28	27,73	21,42	12
71 - 75	363,99	36,48	22,71	11
76 - 80	375,06	34,11	11,07	10
81 - 85	382,98	59,15	7,92	10
				Σ 160

Tab.11 Mittelwerte und Standardabweichung der Fluoridbestimmung im Dentin sowie Differenz der Mittelwerte zwischen den jeweiligen Altersgruppen

Die ermittelte Fluoridkonzentration im Dentin zeigte, wie Tab. 11 und Abb. 29 sowie Abb. 30 verdeutlichen, einen kontinuierlichen Zuwachs innerhalb der zu je 5 Jahren zusammengefaßten Altersgruppen. Dabei lag die Fluoridkonzentration zwischen 82,4 µg/g (Alter 16 Jahre, m, ZF 43) und 480 µg/g bei einem 84-jährigen Probanden (m, ZF 33). Bis zum 70. Lebensjahr war ein linearer Anstieg der Fluoridkonzentration nachweisbar. Nach dem 70. Lebensjahr fanden sich in den Altersgruppen bis zum 85. Lebensjahr die größten Standardabweichungen bei geringerem Zuwachs der Mittelwertdifferenz. So konnte anhand der vorliegenden Untersuchungen davon ausgegangen werden, daß nach dem 75. Lebensjahr kein linearer Zusammenhang mehr angenommen werden konnte. Auch für die Differenzierung in Zähne männlicher und weiblicher Probanden war anhand der Einzelergebnisse dieser Trend, wie Abb. 31 und Abb. 32 verdeutlichen, nachweisbar. Die Differenzierung und die graphische Darstellung des Lebensalters als Funktion der F⁻-Konzentration für die einzelnen Zahntypen erfolgte im Kap. 4.2.5.

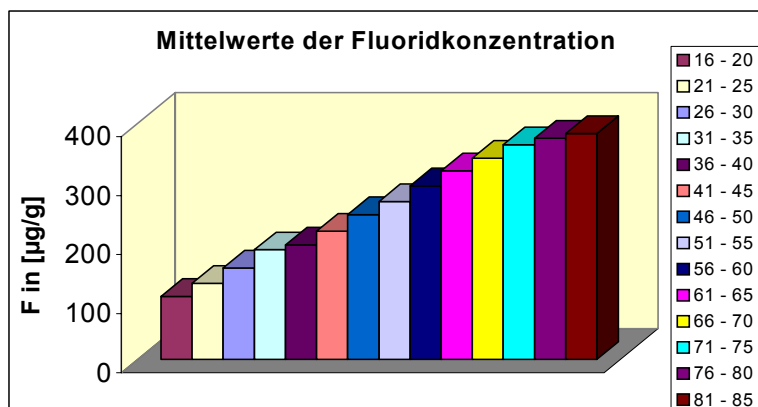


Abb.29 Mittelwerte der F^- -Konzentration geordnet nach Altersgruppen

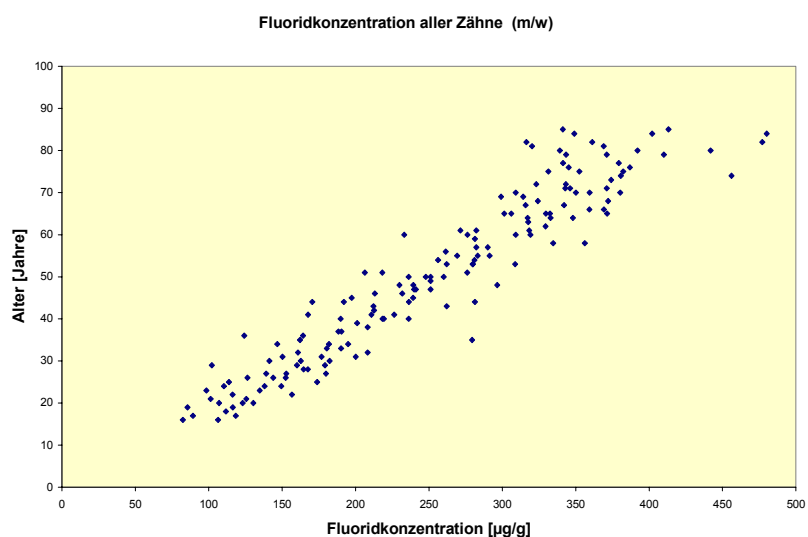


Abb.30 Lebensalter als Funktion der F^- -Konzentration aller Zähne (m/w)

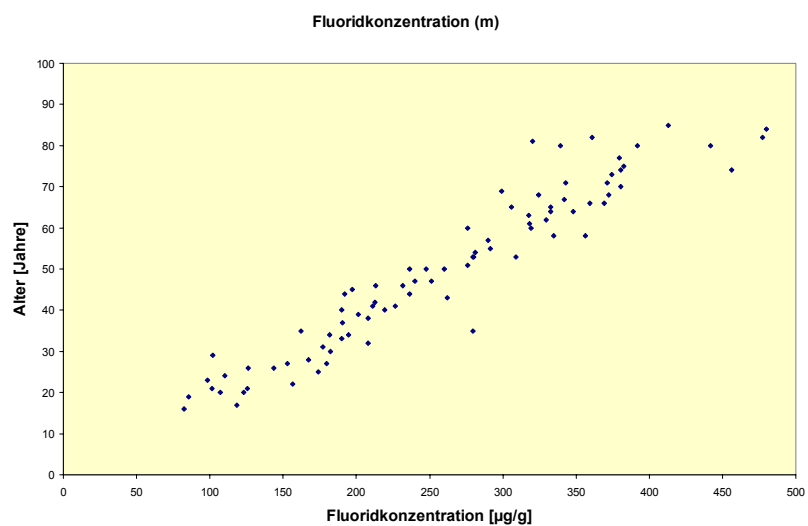


Abb.31 Lebensalter als Funktion der F^- -Konzentration aller Zähne (m)

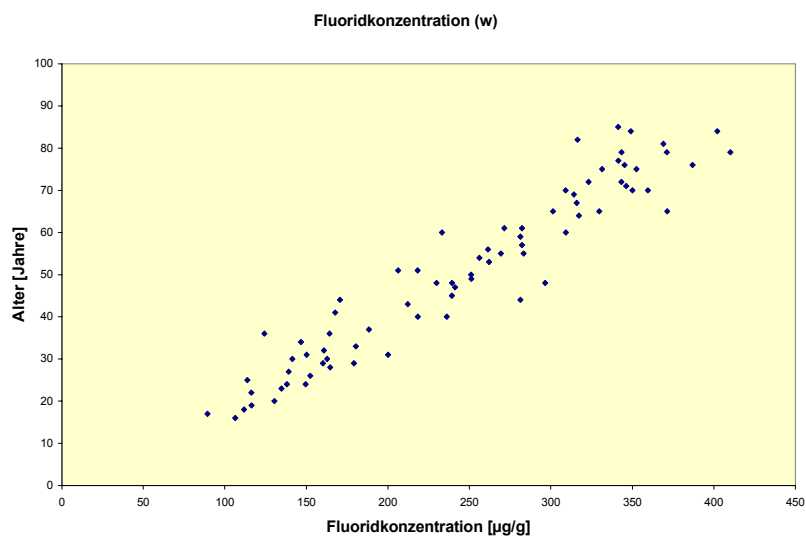


Abb.32 Lebensalter als Funktion der F^- -Konzentration aller Zähne (w)

4.2. Regressionsanalyse und Korrelationskoeffizienten

Sowohl für die Methode der Altersschätzung durch die Bestimmung der Wurzelidentintransparenz als auch durch die Fluoridbestimmungen im Dentin konnte anhand der ermittelten Einzelwerte sowie deren graphischer Darstellung ein annähernd linearer mathematischer Zusammenhang angenommen werden. Um einerseits die Alterskorrelation nachzuweisen und andererseits eine Aussage über Übereinstimmung bzw. Differenz des ermittelten Alters beider Methoden zum chronologischen Alter treffen zu können, wurden für beide Methoden Regressions- und Korrelationsanalysen durchgeführt.

Der von uns definierte Regressionsansatz $\text{Alter} = f[\text{Transparenz}]$ bzw. $\text{Alter} = f[cF^-]$ widerspricht eigentlich den biologischen Gegebenheiten, denn sowohl die Transparenz als auch die Fluoridkonzentration sind vom Alter abhängig und nicht umgekehrt. Für die Fragestellung der Altersbestimmung war es jedoch gerechtfertigt, das Alter als gesuchte, die Wurzeltransparenz bzw. die Fluoridkonzentration als Einflußgröße zu wählen.

Bei den Regressions- und Korrelationsberechnungen wurden bei der Wurzeltransparenz nur zwischen den einzelnen Zahngruppen differenziert. In einer vergleichenden

Untersuchung haben bereits BANG und RAMM nachweisen können, daß es unnötig ist, zwischen Zähnen männlicher und weiblicher Personen und rechtem bzw. linkem Quadranten, jedoch zwischen den einzelnen Zahngruppen zu unterscheiden (2).

Bei der Fluoridbestimmung erfolgte darüber hinaus eine Abhängigkeitsprüfung, um geschlechtsspezifische Unterschiede zu erfassen (siehe Abb. 39 und 40).

Die Regressions- und Korrelationsanalyse wurde sowohl für eine lineare als auch für eine quadratische Kurvenanpassung vorgenommen. Anzunehmen war dabei, daß eine etwas günstigere Korrelation bei der quadratischen Regression auftreten würde, da biologische Vorgänge, wie z.B. das Altern, nicht linear erfolgen.

Das Konfidenzintervall wurde festgelegt um einschätzen zu können, in welchem Bereich und mit welcher Sicherheit unsere Meßwerte liegen. Die Irrtumswahrscheinlichkeit α wurde mit 5% vorgegeben, d.h. 95% unserer Meßwerte lagen im vorgegebenen Konfidenzintervall.

Zur Kennzeichnung der Schätzgenauigkeit der Meßwerte nutzten wir die Reststandardabweichung. Mathematisch-statistisch ist jedoch die Reststreuung (oder Reststandardabweichung) ein Maß für die Punktwertschätzung und muß daher für jeden Mittelwert einzeln erfolgen und kann nur bedingt auf die Regressionsfunktion angewandt werden.

4.2.1. Ergebnisse der Regressionsanalyse

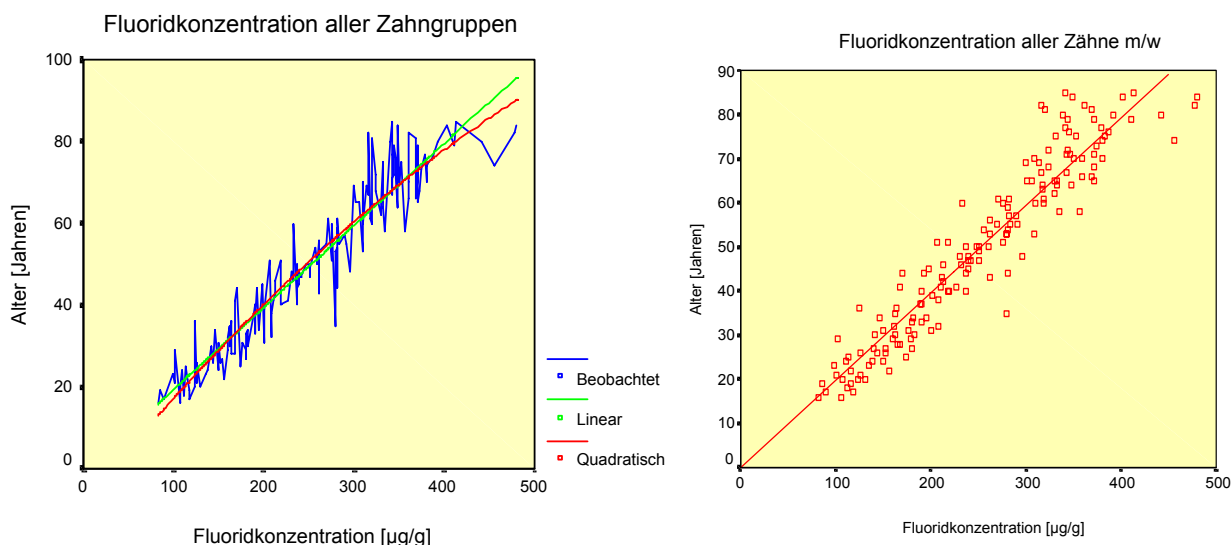


Abb.33 Alter = f [F⁻-Konz.] Eingezeichnet sind die Meßwerte(blau) sowie die lineare (grün) u. quadr. Kurvenanpassung (rot). Die rechte Abb. zeigt die lineare Regressionsgerade aller Zähne (m/w).

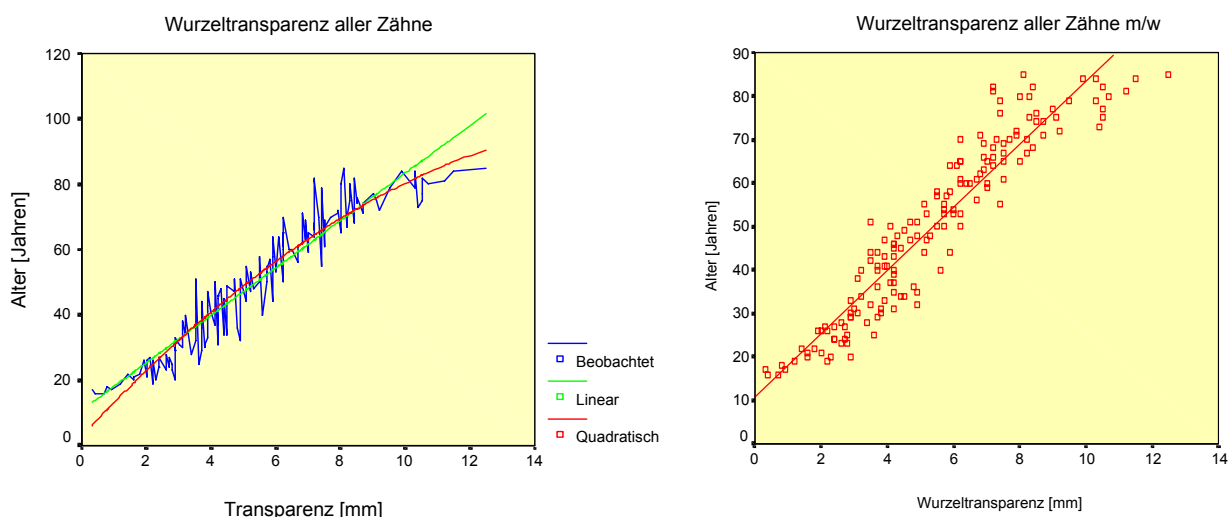


Abb. 34 Alter = f [Transparenz] Eingezeichnet sind die Meßwerte(blau) sowie die lineare (grün) u. quadr. Kurvenanpassung (rot). Die rechte Abb. zeigt die lineare Regressionsgerade aller Zähne (m/w).

Gesamtregression aller Zahngruppen	Funktionsgleichung	Standardab- weichung	Korrelations- koeffizient R	R ²
<u>Lineare Regression</u>				
F-Methode	$y = -0,72 + 0,201x$	6,37	0,948	0,898
Transparenzmethode	$y = 10,91 + 7,249x$	6,64	0,943	0,889
<u>Quadratische Regression</u>				
F-Methode	$y = -8,54 + 0,27x - 0,0014x^2$	6,26	0,949	0,901
Transparenzmethode	$y = 2,90 + 10,66x - 0,292x^2$	6,23	0,950	0,902

Tab.12 Ergebnisse der Regressionsanalyse über alle Zähne für beide Methoden mit Angabe der Funktionsgleichung, Standardabweichung [Jahren], Korrelationskoeffizienten (R) und des Bestimmtheitsmaßes (R²)

Die Tab. 12 sowie die Abb. 33 und Abb. 34 geben eine Übersicht über die jeweiligen Korrelationskoeffizienten für die Methode der Altersbestimmung mittels der Transparenz- bzw. der Fluoridbestimmung unter Berücksichtigung der Regressionsfunktionen 1. und 2. Ordnung für alle Zahngruppen.

Bei der Interpretation bzw. Interpolation auf den Schnittpunkt mit der y-Achse (Ordinate \cong Alter in Jahren) einer Regressionsgerade darf diese nur in dem Bereich beurteilt werden, indem auch Meßwerte zugeordnet werden konnten.

Da bei der Bestimmung der Transparenz der Wert 0 durchaus auftreten kann, ist eine Interpolation auf den Schnittpunkt mit der y-Achse zulässig. Dieser liegt unter Annahme einer linearen Regression bei 11 Jahren, unter Annahme einer quadratischen Regression bei 3 Jahren.

Für die Fluoridbestimmungsmethode ist jedoch die Interpolation auf den x-Wert von 0 (\cong F^- -Konzentration von 0 $\mu\text{g/g}$) nicht denkbar: Erstens gibt es keine F^- -Konzentration von 0 $\mu\text{g/g}$ im Dentin und zweitens darf die Regressionsgerade (bzw. die Regressionsgleichung), wie o.a., nicht interpretiert werden in einem Konzentrationsbereich, indem keine Meßwerte bestimmt wurden.

Mit einem Korrelationskoeffizienten (bei linearer Regression) von 0,948 findet sich dabei für die Altersschätzung anhand der Fluoridbestimmung ein signifikanter und von 0 verschiedener und somit gesicherter Zusammenhang zwischen dem Alter und der Fluoridkonzentration. Dabei beträgt die Standardabweichung für das geschätzte Alter 6,37. Das Bestimmtheitsmaß, ein Maß für die Anpassungsgüte des gewählten mathematischen Modells bzw. für die Straffheit des Zusammenhanges zwischen Ziel- und Einflußgröße, wurde mit 0,898 ermittelt. Insgesamt kann geschlußfolgert werden, daß es berechtigt war, ein lineares Modell zugrunde zulegen.

Werden die Ergebnisse aller Zahngruppen mit der Methode der Transparenzbestimmung verglichen, ergab sich nur ein geringer Unterschied zwischen der Methode der Fluoridbestimmung und der Methode der Transparenzbestimmung. Im Regressionsansatz 2. Ordnung fand sich eine geringfügig bessere Korrelation mit dem Alter für beide Einflußgrößen mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,949 bzw. 0,95 und einem Bestimmtheitsmaß von 0,9.

Unter Annahme einer linearen Regression wurde für beide Bestimmungsmethoden zudem die Konfidenzgrenzen berechnet und in der Anlage 2 (Seite 81 - 84) zusammengefaßt.

4.2.2. Beurteilung der Altersschätzung in Bezug zum mittleren Alter

Um zu beurteilen, mit welcher Genauigkeit die Altersschätzung innerhalb der zu 5 Jahren geordneten Altersgruppen für beide Methoden erfolgte, stellten wir das mittlere chronologische Alter dem geschätzten Alter durch die Fluorid- bzw. Transparenzmethode gegenüber. Ausgehend von der bestimmten mittleren Fluoridkonzentration bzw. Wurzeltransparenz und deren Standardabweichungen in den jeweiligen Altersgruppen, wurde das mittlere Alter und die Standardabweichung über die in Tab. 12 angegebenen Regressionsgleichungen (lineare Regression) errechnet und für jede Methode in Tab. 12 und 13 sowie graphisch in Abb. 35 und Abb. 36 zusammengefaßt. Zudem erfolgte die Differenzberechnung zwischen dem errechneten mittleren Alter und dem mittleren chronologischen Alter.

Altersgruppe [Jahren]	mittleres chron. Alter [Jahren]	errechnetes mittleres Alter F ⁻ -Methode [Jahren]	Standardabweichung errechneten mittleres Alter	Differenz der Schätzung [Jahren]
16 - 20	18,2	20,8	2,6	+2,6
21 - 25	23,1	25,1	4,1	+2,0
26 - 30	28,0	30,4	3,8	+2,4
31 - 35	32,9	36,6	6,4	+3,7
36 - 40	38,9	38,2	5,7	-0,7
41 - 45	43,1	43,0	6,1	-0,1
46 - 50	48,1	48,6	3,2	+0,5
51 - 55	53,2	53,1	5,2	-0,1
56 - 60	58,5	58,4	6,5	-0,1
61 - 65	63,4	63,6	4,6	+0,2
66 - 70	68,3	67,9	4,8	-0,4
71 - 75	73,0	72,4	6,6	-0,6
76 - 80	78,3	74,4	6,1	-3,9
81 - 85	83,0	76,2	11,2	-6,8

Tab.13 Vergleich und Differenz zwischen dem errechneten und dem chronologischen mittleren Alter, Standardabweichung des errechneten Alters für die Fluoridmethode

Altersgruppe [Jahren]	mittleres chron. Alter [Jahren]	errechnetes mittleres Alter [Jahren] Transparenzmethode	Standardabweichung errechnetes mittleres Alter	Differenz der Schätzung [Jahren]
16 - 20	18,2	20,5	19,0	+2,3
21 - 25	23,1	28,0	14,9	+4,9
26 - 30	28,0	30,8	15,3	+2,8
31 - 35	32,9	39,5	15,9	+6,6
36 - 40	38,9	40,6	16,2	+1,7
41 - 45	43,1	41,1	16,0	-2,0
46 - 50	48,1	45,8	16,0	-2,3
51 - 55	53,2	50,8	17,8	-2,4
56 - 60	58,5	56,2	14,9	-2,3
61 - 65	63,4	60,1	15,5	-3,3
66 - 70	68,3	64,8	15,4	-3,5
71 - 75	73,0	74,1	18,6	+1,1
76 - 80	78,3	75,8	19,9	-2,5
81 - 85	83,0	81,1	24,4	-1,9

Tab.14 Vergleich und Differenz zwischen dem errechneten und dem chronologischen mittleren Alter, Standardabweichung des errechneten Alters für die Transparenzmethode

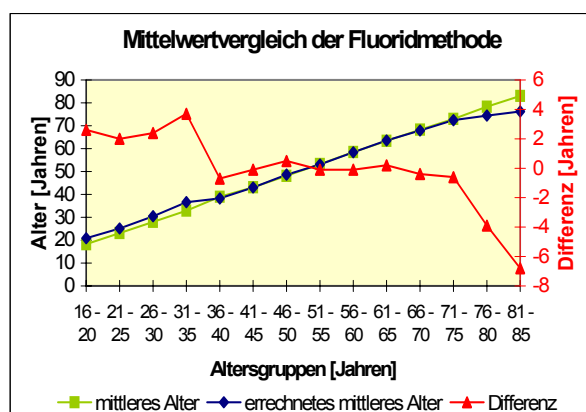


Abb.35 Mittelwertvergleich zwischen dem errechneten und dem chron. Alter der jeweiligen Altersgruppen sowie deren Differenz (rote Linie und Skalierung) für die Fluoridmethode

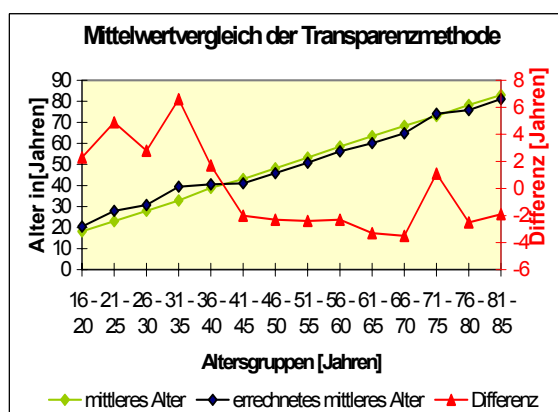


Abb. 36 Mittelwertvergleich zwischen dem errechneten u. dem chron. Alter der Altersgruppen sowie deren Differenz (rote Linie u. Skalierung) für die Transparenzmethode

Für die Altersschätzung anhand der Fluoridbestimmung verdeutlichen die in Tab. 13 und Abb. 35 zusammengefaßten Ergebnisse folgenden Zusammenhang:

In den Altersgruppen zwischen dem 16. und 35. Lebensjahr, also im frühen und mittleren Erwachsenenalter, wurde das chronologische mittlere Alter überschätzt, am deutlichsten innerhalb der Altersgruppe der 31- 35-jährigen. Die Differenz zwischen dem mittleren geschätzten und dem chronologischen Alter lag zwischen 2 und 3,7 Jahren und damit unter 5 Jahren, so daß eine Zuordnung zu der entsprechenden Altersgruppe möglich war. Die errechneten Standardabweichungen in diesem Altersbereich lagen zwischen 2,6 und 6,4. Zwischen dem 35. und dem 75. Lebensjahr, also einer Alterspanne von 40 Jahren, betrug

die Differenz der Altersschätzung weniger als 1 Jahr bei Standardabweichungen zwischen 3,2 und 6,6 Jahren.

Oberhalb des 75. Lebensjahres wurde das Alter zunehmend unterschätzt, am deutlichsten innerhalb der Altersgruppe der 80-jährigen mit 6,8 Jahren. In dieser Altersgruppe fand sich auch die größte Standardabweichung des errechneten mittleren Alters, was auf deutlich differente Fluoridkonzentrationen im Dentin in dieser Altersgruppe hinweist (siehe auch Standardabweichung der F^- -Konzentration in Tab. 11). Auch der im nächsten Kapitel dargestellte Vergleich zwischen dem errechneten und dem chronologischen Alter anhand der Einzelwerte bestätigte den für die Mittelwerte gefundenen Trend.

Für die Fluoridmethode resultiert die Überschätzung im jüngeren Lebensalter aus dem größeren altersabhängigen Anstieg der F^- -Konzentration und der hohen Kapazität des Apatitgitters im Dentin, Fluoridionen aufzunehmen. Im Alter findet sich ein deutlich geringerer Anstieg der Fluoridkonzentration, welches auch der Punktwolke in den Abb. 30 und 33 zu entnehmen ist, bedingt durch die Sättigung des Apatitgitters mit Fluoridionen im Dentin.

Für die Altersschätzung anhand der Bestimmung der Wurzeldentintransparenz kann aus den Ergebnissen in Tab. 14 und deren graphischer Darstellung in Abb. 36 geschlußfolgert werden:

Verglichen mit der Fluoridmethode wurde auch mit der Transparenzmethode das chronologische Alter im frühen und mittleren Erwachsenenalter (Altersgruppe vom 16. – 40. Lebensjahr) überschätzt. Die Differenzen betrugen zwischen 1,7 und 6,6 Jahren. Während sich jedoch zwischen dem 35. und 75. Lebensjahr, bei der Altersschätzung durch die Fluoridmethode, eine weitgehende Übereinstimmung zum mittleren chronologischen Alter zeigte, fand sich bei der Transparenzmethode in diesem Altersbereich eine Unterschätzung zwischen 2 und 3 Jahren mit leicht steigender Tendenz. Auch im hohen Lebensalter, also zwischen dem 76. und 85. Lebensjahr, wurde das Alter unterschätzt.

Für die Transparenzmethode wäre anhand der linearen und der quadratischen Regression mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,94 sowie einer Standardabweichung von 6,6 Jahren (siehe Tab. 12) eine der Fluoridmethode vergleichbare Genauigkeit anzunehmen gewesen. Jedoch zeigte sich gerade im Vergleich der Standardabweichungen (siehe auch Tab. 13, 14 und Tab. 10) innerhalb der gebildeten Altersgruppen, daß die Abweichungen

zwischen 14 und 24 Jahre betrugen und somit um mehr als 10 Jahren von denen der Fluoridmethode differierten.

Das bedeutet für das geschätzte Lebensalter anhand der Transparenzmethode Differenzen zwischen 14 und 24 Jahren zum chronologischen Alter und weist auf die Fehlermöglichkeiten der Transparenzmethode hin, welche durch folgende Besonderheiten erklärbar sind.

Bei Zähnen jüngerer Probanden ist es möglich, daß die, durch die geringere Dentinstärke an der Wurzelspitze unter konstanter Beleuchtung auftretende Aufhellung (jedoch nicht die Transparenz), als Transparenzerscheinung gemessen wird. In hohem Lebensalter finden sich oftmals vollständig transparente Wurzeln, so daß auch hier die exakte Festlegung der Transparenzgrenze sehr schwierig werden kann. Es gibt jedoch bislang kein quantitatives Meßverfahren, daß die subjektive Beurteilung der Transparenzgrenzen durch den Untersucher und damit die Messung des Transparenzstrecke objektivieren kann. Demzufolge ist gerade die Meßgenauigkeit im jungen und sehr hohen Alter deutlich geringer und kann bei Abweichungen von weniger als 1 mm zu Fehlbestimmungen bis zu mehreren Jahren oder Jahrzehnten führen.

Demgegenüber muß als Vorteil der Fluoridmethode gewertet werden, daß derartige subjektive Fehler nicht auftreten können und bei Mehrfachbestimmungen einer Dentinprobe die Messungen mit einer Abweichung von unter 1% reproduzierbar waren.

4.2.3. Vergleich der Altersschätzung beider Methoden anhand der Einzelwerte

Um nun zu beurteilen, mit welcher Genauigkeit die Altersschätzung beider Methoden erfolgte, verglichen wir die Einzelwerte des chronologischen Alters mit dem geschätzten Alter durch die Fluorid- bzw. Transparenzmethode. Ausgehend von der ermittelten Fluoridkonzentration bzw. der Wurzeltransparenz jedes Zahnes errechneten wir das Alter über die zuvor bestimmte Regressionsgerade (siehe Tab. 12). Danach wurde die Differenz von dem geschätzten Alter jeder Methode und dem chronologischen Alter gebildet und die Übereinstimmung innerhalb von ± 2 Jahren sowie die Über- und Unterschätzung innerhalb

der in Tab. 15 angegebenen Intervalle geprüft. Die Ergebnisse dieser Einzelwertüberprüfung sind in der Anlage (Seite 78 - 81) zusammengefaßt.

Methode	Übereinstimmung innerhalb [Jahren] von 0 ± 2 Jahren	Überschätzung innerhalb [Jahren]			Unterschätzung innerhalb [Jahren]		
		3 bis 5	6 bis 10	>10	3 bis 5	6 bis 10	>10
Fluoridmethode	55 (34%)	30 (19%)	17 (11%)	7 (4%)	26 (16%)	17 (11%)	8 (5%)
Transparenz- methode	52 (32%)	21 (13%)	24 (15%)	9 (6%)	26 (16%)	19 (12%)	9 (6%)

Tab.15 Übereinstimmung und Angabe der Über- bzw. Unterschätzung des chronologischen Alters durch das geschätzte Alter anhand der Fluorid- bzw. Transparenzmethode für die Einzelwerte ohne Berücksichtigung des Zahntyps und des Geschlechts

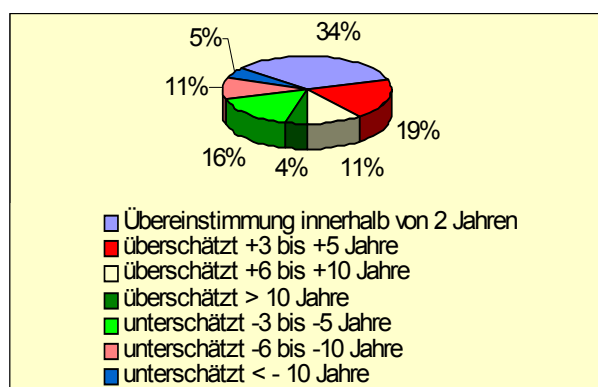


Abb. 37 Ergebnisse der Altersschätzung mittels der Fluoridmethode im Vergleich zum chronologischen Alter

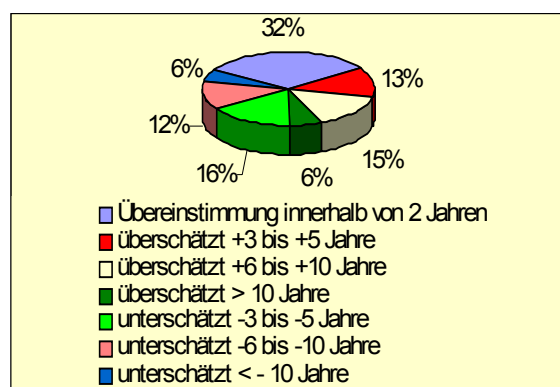


Abb. 38 Ergebnisse der Altersschätzung mittels der Transparenzmethode im Vergleich zum chronologischen Alter

Zusammenfassend verdeutlicht Tab. 15 und Abb. 37 für die Altersschätzung anhand der Fluoridmethode, daß in 34% das Alter innerhalb einer Abweichung von 2 Jahren richtig ermittelt wurde. In 35% der Schätzung wurde das Alter mit einer Abweichung von ± 3 bis ± 5 Jahren ermittelt. In 22% ergab sich eine Abweichung des geschätzten vom chronologischen Alter von ± 6 bis ± 10 Jahren, in 9% war die Abweichung größer als ± 10 Jahre.

Auch die Überprüfung der Altersschätzung anhand von Einzelwerten bestätigte den für die Mittelwerte erkennbaren und in Abb. 35 dargestellten Zusammenhang. Oberhalb des 75. Lebensjahres wurde das Alter meist deutlich (> 5 Jahre) unterschätzt, besonders in der Altersgruppe der 81- 85-jährigen. Hier wurde das Alter in 70% mit einer Abweichung von ≥ 10 Jahren unterschätzt. Die Überschätzung des Alters (≥ 6 bis 10 Jahre), insgesamt nur

11% bezogen auf das gesamte Untersuchungsgut, betraf vor allem die Altersgruppen bis zum 35. Lebensjahr (davon 47% bis 35. Lebensjahr).

Die Übereinstimmung innerhalb von ± 2 Jahren betraf überwiegend die Altersgruppe vom 35. bis zum 75. Lebensjahr (siehe auch Abb. 35).

Abb. 38 und Tab. 15 verdeutlichen, daß mit der Methode der Altersschätzung anhand der Wurzelidentintransparenz in 32% der Fälle das Alter innerhalb einer Abweichung von 2 Jahren richtig ermittelt wurde. In 39% der Schätzung wurde das Alter mit einer Abweichung von ± 3 bis ± 5 Jahren ermittelt. In 27% stellten wir eine Abweichung des geschätzten vom chronologischen Alter von ± 6 bis ± 10 Jahren fest, in 12% war die Abweichung größer als ± 10 Jahre.

Auch hier entfielen bei der Unterschätzung des Alters (≥ 10 Jahre) 89% auf die Altersgruppe der über 80-jährigen und eine Überschätzung des Alters auf die Altersgruppen bis zum 40. Lebensjahr (siehe auch Tab. 14 und Abb. 36).

Bei einem weniger streng gesetzten Maßstab für eine zutreffende Altersschätzung mit einer Abweichung von ± 5 Jahren des ermittelten Alters vom chronologischen Alter und damit noch innerhalb der ermittelten Standardabweichung der Regressionsgeraden von 6,37 (Fluoridmethode, siehe Tab. 12) bzw. 6,64 Jahren (Transparenzmethode, siehe Tab. 12), ergab sich für die Einzelwertüberprüfung folgender Zusammenhang:

Für die Methode der Altersschätzung anhand der Fluoridbestimmung wurde das chronologische Alter mit einer Abweichung von ± 5 Jahren in 69% des Untersuchungsgutes richtig ermittelt. In 31% fand sich eine Abweichung von mehr als ± 5 Jahren.

Für die Methode der Altersschätzung anhand der Transparenzbestimmung wurde das chronologische Alter mit einer Abweichung von ± 5 Jahren in nur 61% des Untersuchungsgutes richtig ermittelt. In 39% der Fälle fand sich eine Abweichung von mehr als ± 5 Jahren.

4.2.4. Äquivalenztestprüfung und T-Test für beide Methoden

In den vorangegangenen zwei Kapiteln wurde untersucht, inwieweit das durch beide Methoden bestimmte Alter mit dem chronologischen Alter übereinstimmte bzw. in den angegebenen Intervallen differierte. Aus dieser Gegenüberstellung (vergleiche Abb. 35 – 38) konnte unter Einbeziehung der Standardabweichungen indirekt eine Aussage über die Genauigkeit beider Methoden getroffen werden. Nachfolgend prüften wir, ob das durch beide Methoden errechnete Alter statistisch vergleichbar war. Im Äquivalenz- und T-Test ist statistisch ausschließlich geprüft worden, inwieweit sich das errechnete Alter zwischen beiden Methoden unterscheidet oder übereinstimmt.

Ausgehend von dem errechneten Alter wurde im Methodenvergleich die Korrelation zum Alter geprüft, die mit 0,896 auf einen statistisch engen Zusammenhang zwischen der Fluoridkonzentration und der Wurzeltransparenz zum Alter hinweist (siehe Tab. 12). Im durchgeführten T-Test überprüften wir, ob sich die Erwartungswerte μ_F (errechnete Alter durch die Fluoridmethode) und μ_{Tr} (errechnete Alter durch die Transparenzmethode) unterscheiden und formulierten die Arbeitshypothese wie folgt:

$$H_0(\text{Hypothese}): \mu_F > \mu_{Tr} \text{ bzw. } \mu_F < \mu_{Tr}$$

Mit einem p-Wert von $p = 0,0$ (letzte Spalte in Tab. 16) und damit $p < 0,05$ ist die aufgestellte Hypothese, die errechneten Alterswerte durch beide Methoden unterscheiden sich, abzulehnen. Daraus darf geschlußfolgert werden, daß die Erwartungswerte μ_F (errechnete Alter durch die Fluoridmethode) und μ_{Tr} (errechnete Alter durch die Transparenzmethode) statistisch vergleichbar waren.

		N	Korrelation	Signifikanz
Paar 1	mittleres errechnetes Alter F-Methode & mittleres errechnetes Alter Tr.-Methode	160	0,896	,000

Tab. 16 Korrelationen (bei gepaarten Stichproben) des errechneten Alters durch die Fluorid- und Transparenzmethode, Stichprobenumfang N, Korrelation r und p-Wert

	Gepaarte Differenzen			
	Standardab- weichung	Standard- fehler	90% Konfidenzintervall der Differenzen	
			Untere Grenze	Obere Grenze
Alter F-Methode & Transparenzmethode	8,54	0,675	-1,118	1,118

Tab.17 T-Test bei gepaarten Stichproben unter der Voraussetzung des 90% Konfidenzintervalles für die Mittelwertdifferenzen der errechneten Alterswerte anhand der Fluorid- bzw. der Transparenzmethode

Aufgabenstellung des Äquivalenztestes war es, die Übereinstimmung der errechneten Alterswerte untereinander in einem vorgegebenen Intervall von ± 5 Jahren statistisch zu vergleichen. Deshalb wurde der Äquivalenzbereich auf 5 Jahre festgesetzt. Zwischen dem errechneten Alter durch die Fluorid- und Transparenzmethode wurde die Differenz gebildet und danach, wie in der Statistik üblich geprüft, ob das 90% Konfidenzintervall dieser Differenzen innerhalb oder außerhalb des Äquivalenzbereiches liegt. Unter der Voraussetzung, daß das 90% Konfidenzintervall der Mittelwertdifferenzen innerhalb dieses festgelegten Bereiches von ± 5 Jahren liegen würde, wären beide Methoden äquivalent gewesen (90% Konfidenzintervall der Mittelwertdifferenzen \subset Äquivalenzbereich). Die mathematisch formulierte Hypothese lautete daher:

H_0 : Mittelwertdifferenz ≤ -5 Jahre bzw. Mittelwertdifferenz $\geq + 5$ Jahre
(\cong Nichtäquivalenz)

Bei der Äquivalenztestprüfung unterschieden sich die Mittelwertdifferenzen innerhalb des 90% Konfidenzintervalles um $\pm 1,1$ Jahre (siehe Konfidenzgrenzen in Tab. 17), so daß die H_0 -Hypothese (\cong Nichtäquivalenz) abzulehnen ist oder anders formuliert: Beide Methoden sind hinsichtlich des errechneten Alters statistisch vergleichbar bzw. signifikant nicht verschieden.

Nochmals muß aber darauf verwiesen werden, daß die in Kap. 4.2.1. und Kap. 4.2.2. herausgearbeiteten Differenzen zwischen dem errechneten und chronologischen Alter in beiden Methoden nicht mit dem statistischen Vergleich beider Bestimmungsmethoden gleichgesetzt werden dürfen.

4.2.5. Regressionsanalyse der einzelnen Zahngruppen

Bei der nachfolgenden Analyse zunächst aller Zahntypen wurde nur bei der Bestimmung der F^- -Konzentration zwischen männlichen und weiblichen Probanden differenziert, um zu prüfen, ob es hier geschlechtsabhängige Unterschiede gibt. Für die Transparenzmethode ist eine solche Differenzierung, wie bereits weiter oben dargelegt, nicht notwendig (Tab. 18).

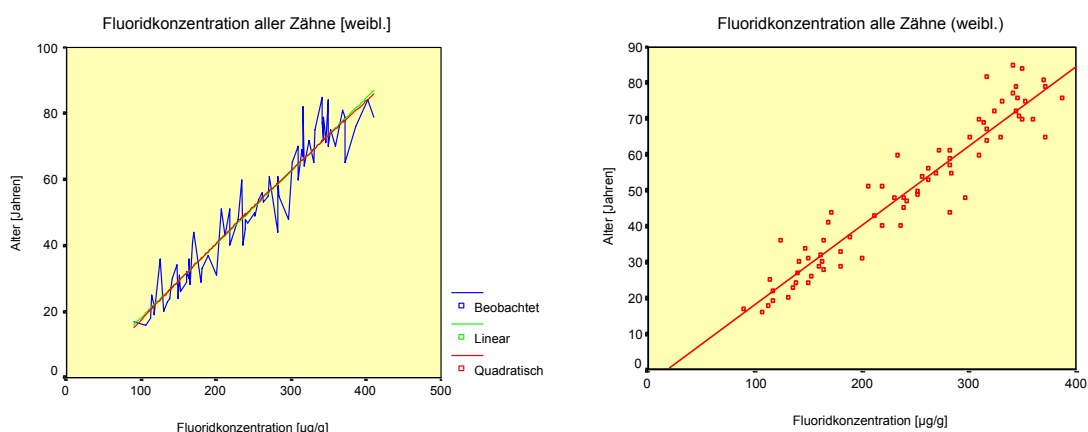


Abb. 39 Alter = f [F^- -Konz.] Eingezeichnet sind die Meßwerte(blau) sowie die lineare (grün) u. quadr. Kurvenanpassung (rot). Die rechte Abb. zeigt die lineare Regressionsgerade aller Zähne weiblicher Probanden.

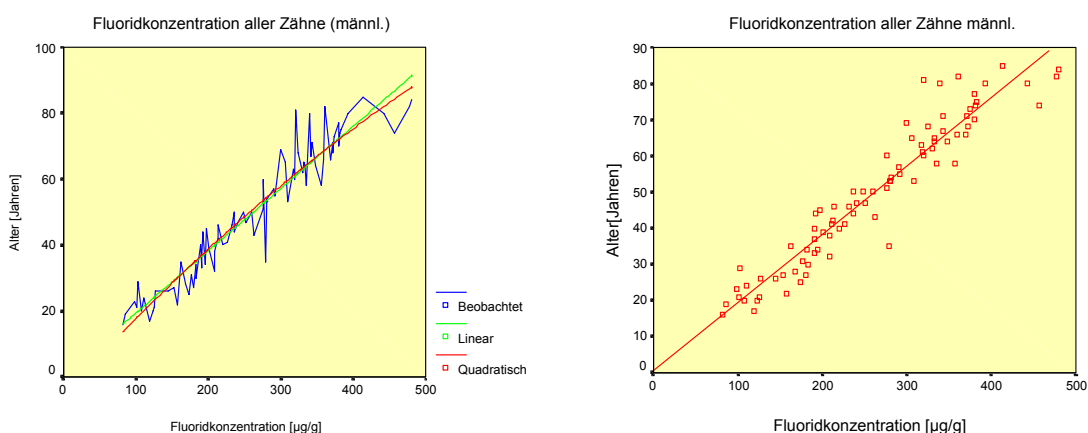


Abb. 40 Alter = f [F^- -Konz.] Eingezeichnet sind die Meßwerte(blau) sowie die lineare (grün) u. quadr. Kurvenanpassung (rot). Die rechte Abb. zeigt die lineare Regressionsgerade aller Zähne männl. Probanden.

Gesamtregression aller Zahngruppen	Funktionsgleichung	Standardabweichung	Korrelationskoeffizient R	R^2
Lineare Regression				
F-Methode (weibl.)	$y = -3,82 + 0,188x$	5,95	0,956	0,914
F-Methode (männl.)	$y = 0,582 + 0,221x$	5,91	0,914	0,910
Quadratische Regression				
F-Methode (weibl.)	$y = -6,51 + 0,239x - 5,12E^{-5}x^2$	5,98	0,956	0,914
F-Methode (männl.)	$y = -5,24 + 0,246x - 9,57E^{-5}x^2$	5,89	0,950	0,913

Tab. 18 Ergebnisse der Regressionsanalyse über aller Zähne für die Fluoridmethode mit Angabe der Funktionsgleichung, Standardabweichung [Jahren], Korrelationskoeffizienten (R) und des Bestimmtheitsmaßes (R^2)

Die Auswertung der Regressionsanalyse 1. und 2. Ordnung (Konfidenzniveau 0,95, $\alpha=5\%$) zeigte, daß bei einer Übereinstimmung hinsichtlich der Standardabweichung, des Korrelationskoeffizienten und des Bestimmtheitsmaßes eine Trennung in männliche und weibliche Probanden nicht notwendig ist (siehe Abb. 39 u. 40 sowie Tab. 18). Diese Unterteilung in Zähne von weiblichen und männlichen Probanden ergab bei der durchgeführten Regressionsanalyse beim männlichen Geschlecht einen geringfügig größeren Anstieg der Regressionsgeraden als bei den weiblichen Probanden (siehe Tab. 18).

Die quadratische Regression bringt hinsichtlich der linearen Regression keine Verbesserung.

Nachfolgend wurde eine Trennung in einzelne Zahngruppen durchgeführt um zu prüfen, in welcher Gruppe das geschätzte Alter durch die Transparenzmethode bzw. die Methode der Fluoridbestimmung am genauesten mit dem tatsächlichen Alter korreliert.

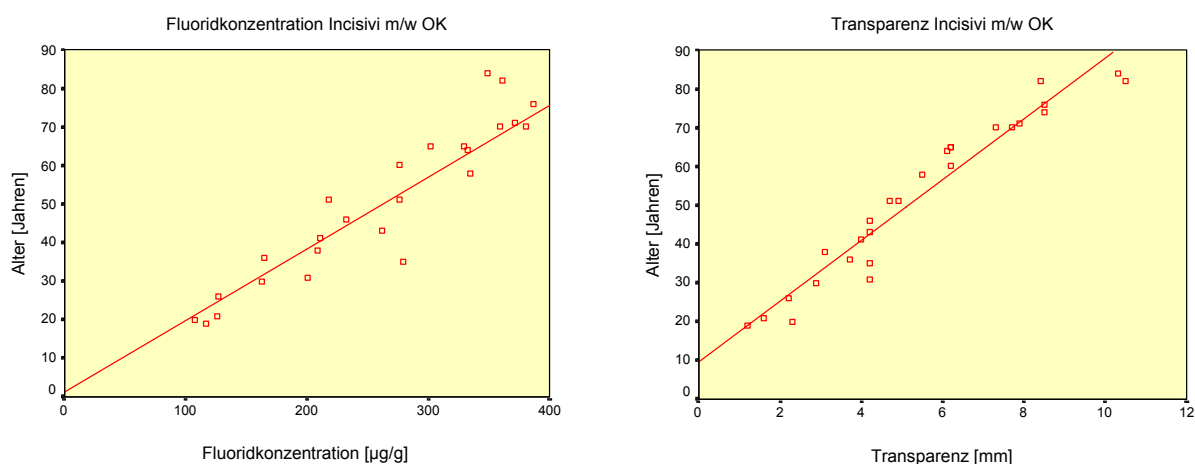


Abb.41 Lineare Regression der Incisivi des Oberkiefers für die Fluorid- und Transparenzmethode (li. bzw. re. im Bild)

Gesamtregression	Funktionsgleichung	Standardabweichung	Korrelationskoeffizient R	R ²
<u>Incisivi m/w Oberkiefer</u>				
F-Methode	$y=1,14+0,186x$	7,64	0,932	0,869
Transparenzmethode	$y=9,67+7,825x$	5,23	0,969	0,939

Tab.19 Ergebnisse der Regressionsanalyse der Incisivi des Oberkiefers für beide Methoden mit Angabe der Funktionsgleichung, Standardabweichung [Jahren], Korrelationskoeffizienten (R) und des Bestimmtheitsmaßes (R²)

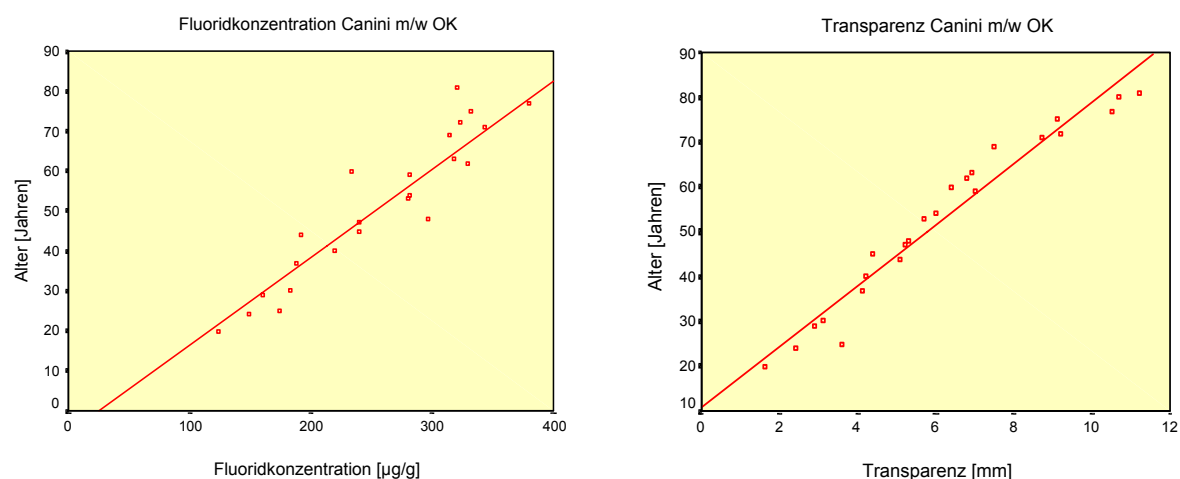


Abb.42 Lineare Regression der Canini des Oberkiefers für die Fluorid- und Transparenzmethode (li. bzw. re. im Bild)

Gesamtregression	Funktionsgleichung	Standardabweichung	Korrelationskoeffizient R	R ²
<u>Canini m/w Oberkiefer</u>				
F-Methode	$y = -5,475 + 0,22x$	6,99	0,932	0,87
Transparenzmethode	$y = 10,70 + 6,824x$	4,24	0,976	0,953

Tab.20 Ergebnisse der Regressionsanalyse der Canini des Oberkiefers für beide Methoden mit Angabe der Funktionsgleichung, Standardabweichung [Jahren], Korrelationskoeffizienten (R) und des Bestimmtheitsmaßes (R²)

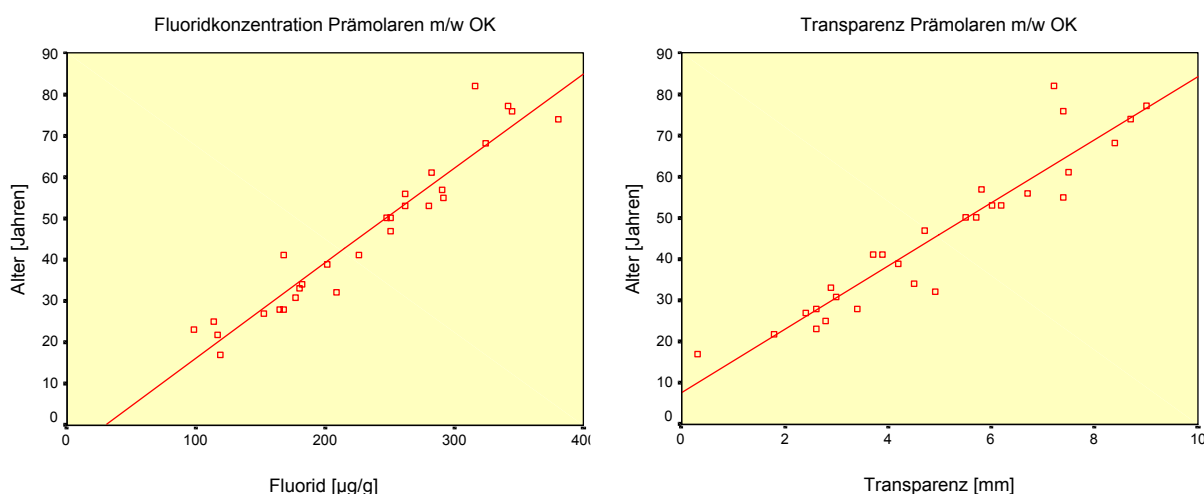


Abb.43 Lineare Regression der Prämolaren des Oberkiefers für die Fluorid- und Transparenzmethode (li. bzw. re. im Bild)

Gesamtregression	Funktionsgleichung	Standardabweichung	Korrelationskoeffizient R	R ²
<u>Prämolaren m/w Oberkiefer</u>				
F-Methode	$y = -6,546 + 0,229x$	5,38	0,959	0,919
Transparenzmethode	$y = 7,725 + 7,642x$	6,46	0,94	0,884

Tab.21 Ergebnisse der Regressionsanalyse der Prämolaren des Oberkiefers für beide Methoden mit Angabe der Funktionsgleichung, Standardabweichung [Jahren], Korrelationskoeffizienten (R) und des Bestimmtheitsmaßes (R²)

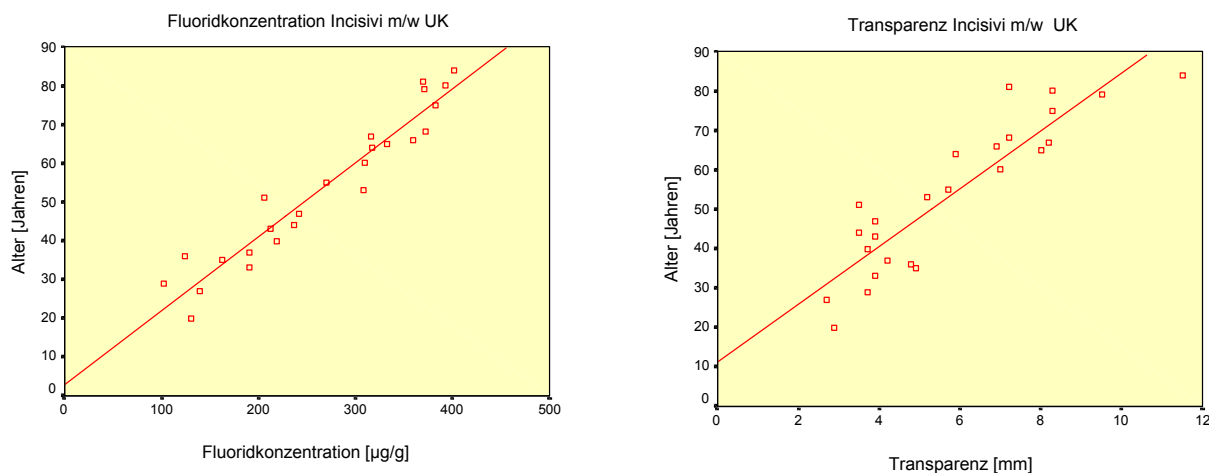


Abb.44 Lineare Regression der Incisivi des Unterkiefers für die Fluorid- und Transparenzmethode (li. bzw. re. im Bild)

Gesamtregression	Funktionsgleichung	Standardabweichung	Korrelationskoeffizient R	R ²
<u>Incisivi m/w Unterkiefer</u>				
F-Methode	$y=2,744+0,191x$	5,26	0,962	0,926
Transparenzmethode	$y=11,122+7,342x$	8,31	0,902	0,814

Tab.22 Ergebnisse der Regressionsanalyse der Incisivi des Unterkiefers für beide Methoden mit Angabe der Funktionsgleichung, Standardabweichung [Jahren], Korrelationskoeffizienten (R) und des Bestimmtheitsmaßes (R²)

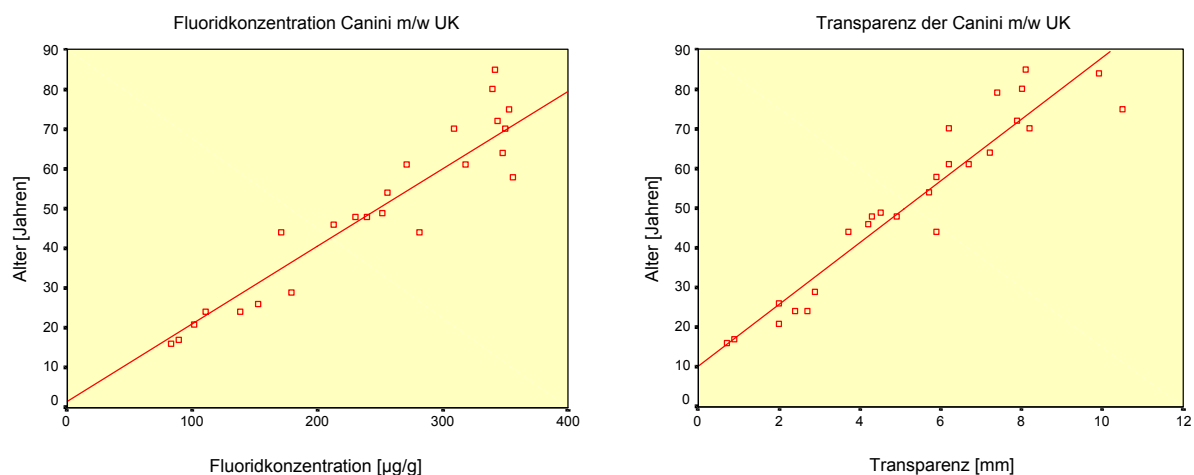


Abb.45 Lineare Regression der Canini des Unterkiefers für die Fluorid- und Transparenzmethode (li. bzw. re. im Bild)

Gesamtregression	Funktionsgleichung	Standardabweichung	Korrelationskoeffizient R	R ²
<u>Canini m/w Unterkiefer</u>				
F-Methode	$y=1,675+0,194x$	7,32	0,945	0,893
Transparenzmethode	$y=10,256+7,787x$	6,81	0,953	0,907

Tab.23 Ergebnisse der Regressionsanalyse der Canini des Unterkiefers für beide Methoden mit Angabe der Funktionsgleichung, Standardabweichung [Jahren], Korrelationskoeffizienten (R) und des Bestimmtheitsmaßes (R²)

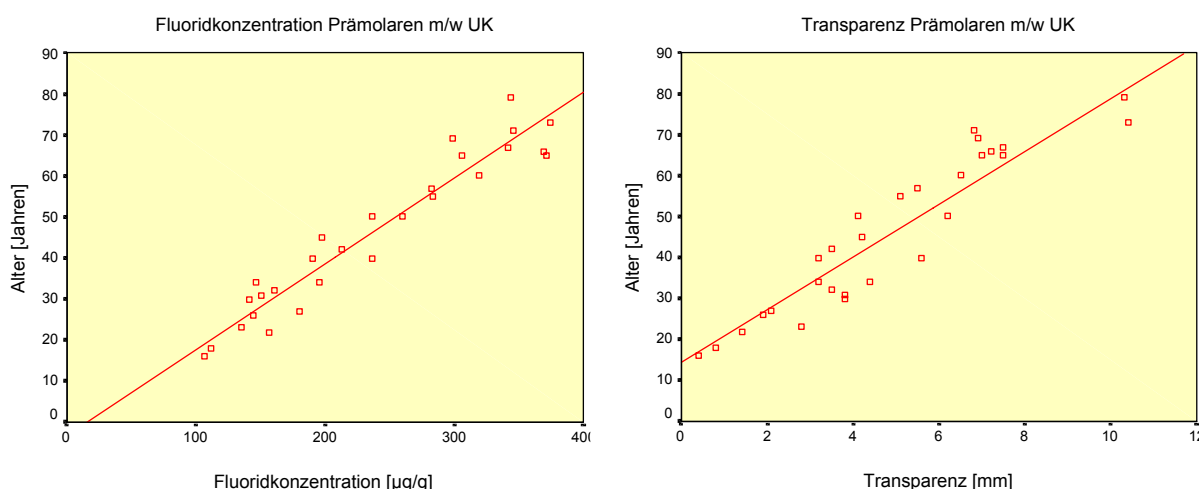


Abb.46 Lineare Regression der Prämolaren des Unterkiefers für die Fluorid- und Transparenzmethode (li. bzw. re. im Bild)

Gesamtregression	Funktionsgleichung	Standardabweichung	Korrelationskoeffizient R	R ²
Prämolaren m/w Unterkiefer				
F-Methode	$y = -3,063 + 0,208x$	5,18	0,967	0,934
Transparenzmethode	$y = 14,43 + 6,438x$	6,83	0,941	0,886

Tab.24 Ergebnisse der Regressionsanalyse der Prämolaren des Unterkiefers für beide Methoden mit Angabe der Funktionsgleichung, Standardabweichung [Jahren], Korrelationskoeffizienten (R) und des Bestimmtheitsmaßes (R²)

Zur Bestimmung des Konfidenzniveaus setzten wir auch in den einzelnen Zahngruppen die Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 5\%$ fest. Daraus folgt, daß die ermittelten Meßwerte mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% im Konfidenzniveau zu finden sind. Die Korrelationsanalyse 1. Ordnung (lineare Regression) konnte deshalb Anwendung finden, da im Vergleich aller Zahngruppen beider Methoden die Regression 2. Ordnung keine wesentliche Verbesserung erbrachte.

Für die Methode der Wurzeltransparenz erbrachte die Regressions- und Korrelationsanalyse die beste Korrelation zwischen dem Alter und der Transparenz bei den oberen Eckzähnen ($R = 0,976$) mit einer Standardabweichung von $\pm 4,24$ Jahren (Abb. 42 u. Tab. 20). Danach folgten die oberen Schneidezähne ($R = 0,969$) mit einer Standardabweichung von $\pm 5,23$ Jahren gegenüber dem errechneten mittleren Alter (Abb. 41 und Tab. 19). Geringfügig schlechter war die Korrelation bei den unteren Schneidezähnen (siehe Tab. 23) mit $R = 0,902$ sowie einer Standardabweichung von $\pm 8,31$ Jahren (Abb. 44 und Tab. 22).

Unsere Ergebnisse bestätigten die Untersuchungen von BANG und RAMM, welche die günstigste Korrelation bei den Schneidezähnen gefolgt von den Eckzähnen des Oberkiefers fanden. Sie gaben bei $\alpha = 5\%$ eine Standardabweichung von $\pm 6,43$ Jahren an. Dabei betrug die Abweichung in 58,3% der Fälle $\pm 4,5$ Jahre, in 79,2% der Fälle $\pm 9,5$ Jahre.

Mittels der Methode der Altersschätzung anhand der Fluoridbestimmung ergab der Vergleich der unterschiedlichen Zahngruppen die günstigste Korrelation bei den Prämolaren des Ober- und Unterkiefers ($R = 0,959$ und $0,967$) bei einer Standardabweichung von $\pm 5,38$ bzw. $\pm 5,18$ Jahren (Abb. 43 und Abb. 46). Die größten Standardabweichungen vom mittleren Alter fanden sich bei den Schneidezähnen des Oberkiefers ($\pm 7,64$ Jahre) und den Eckzähnen des Unterkiefers ($\pm 7,32$ Jahre).

Der altersbezogene Anstieg der F^- -Konzentration war dabei in den unterschiedlichen Zahngruppen kaum different.

Insgesamt differierten die Korrelationskoeffizienten beider Methoden untereinander und im Vergleich mit der Gesamtregression nur in der 2. Dezimalstelle, so daß lediglich kleine Unterschiede innerhalb der einzelnen Zahngruppen nachgewiesen wurden.

Für beide Methoden kann eingeschätzt werden, daß bei einer Standardabweichung von $\pm 6,4$ bzw. $6,6$ Jahren und einem Korrelationskoeffizienten von $0,9$ eine gute Altersschätzung sowohl durch die Fluoridmethode als auch durch die Transparenzmethode möglich war. Auch der Äquivalenztest konnte nachweisen, daß bei der nur geringen Differenz von $\pm 1,1$ Jahren zwischen beide Methoden die Ergebnisse der Altersschätzung nicht signifikant verschieden waren.

Hinsichtlich der Differenzen zwischen dem bestimmten und dem chronologischen Alter durch beide Methoden sei auf Kap. 4.2.2., Seite 48 verwiesen.

5. Diskussion der Ergebnisse

Der Frage nach einer einfachen, schnell durchführbaren und reproduzierbaren Methode der Altersschätzung sind wir dahingehend nachgegangen, indem wir das Verfahren der Altersermittlung durch die Bestimmung der Dentinfluoridkonzentration mit der bereits etablierten Altersbestimmungsmethode anhand der Wurzeldentintransparenzmessung verglichen haben. Als Untersuchungsmaterial wählten wir 169 einwurzelige Zähne, von denen 160 Zähnen zur Altersschätzung nach beiden Methoden herangezogen werden konnten.

Die Auswahl von nur einwurzeligen Zähnen, erfolgte aus zwei wesentlichen Gründen. Erstens haben die Untersucher GUSTAFSON (1955), JOHNSON (1968), BANG und RAMM (1970) darauf hingewiesen, daß die beste Korrelation mit dem Alter zu finden sei, wenn möglichst nur einwurzelige Zähne und keine ersten Prämolaren und keine Molaren zu Altersschätzung verwendet werden.

Zweitens schreitet der Zahnverlust mit zunehmender Alter voran. Davon sind insbesondere die Molaren betroffen. Mit dem zunehmenden Zahnverlust oberhalb des 65. Lebensjahres ist eine Altersschätzung anhand entwicklungsbiologischer Kriterien erschwert. Eine gewisse Schlüsselrolle kommt daher den Eckzähnen zu, da sie die längste Funktionsdauer im menschlichen Gebiß haben.

Diskussion der Ergebnisse der Altersschätzung durch die Fluoridmethode

Nach Ermittlung der entsprechenden Fluoridkonzentrationen führten wir Regressionsberechnungen 1. und 2. Ordnung durch, um zu überprüfen, welcher Funktionstyp den ersichtlichen Zusammenhang zwischen Alter und Fluoridkonzentration am besten wiedergibt. Bei diesen Berechnungen zeigte sich, daß bis zum 70. Lebensjahr ein linearer Zusammenhang (Regression 1. Ordnung) angenommen werden kann. Wir fanden mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,948 und einer Standardabweichung von $\pm 6,4$ Jahren eine sehr gute Korrelation zwischen Alter und Fluoridkonzentration unter Verwendung einer linearen Regression. Die quadratische Regression führte zu einer nur unwesentlichen Veränderung in der 2. Dezimalstelle ($R = 0,949$, Standardabweichung $\pm 6,3$ Jahre). Bei einem Bestimmtheitsmaß für alle Zähne von 0,89 kann geschlußfolgert werden, daß mit 89% eine lineare Beziehung zwischen der Fluoridkonzentration im Dentin mit dem Lebensalter angenommen werden kann und nur in 11% andere Faktoren eine Rolle spielen,

die von uns nicht untersucht wurden. Die Regression 2. Ordnung ergab mathematisch nur in der zweiten Dezimalstelle eine bessere Anpassung zwischen Fluoridkonzentration und Alter. Im höheren Lebensalter (ab dem 70. Lebensjahr) konnte die quadratische Kurvenanpassung (Regression 2. Ordnung), bedingt durch den geringeren Anstieg der Fluoridkonzentration im Dentin, den Bezug zum Alter besser beschreiben (siehe auch Verlauf der quadratischen Kurvenanpassung in Abb. 47).

JACKSON und WEIDMANN (1958) wiesen bei Bestimmungen des Fluoridgehaltes im menschlichen Knochen eine vergleichbare Plateaubildung nach (24). Diese Ergebnisse bestätigten HEFTI und MARTAHLER (1981) (22). Demgegenüber wiesen SCHELLMANN und ZOBEL (1975) an Beckenkammuntersuchungen einen linearen Fluoridanstieg in Abhängigkeit vom Lebensalter nach (71). STEINECKE et al. konnte in

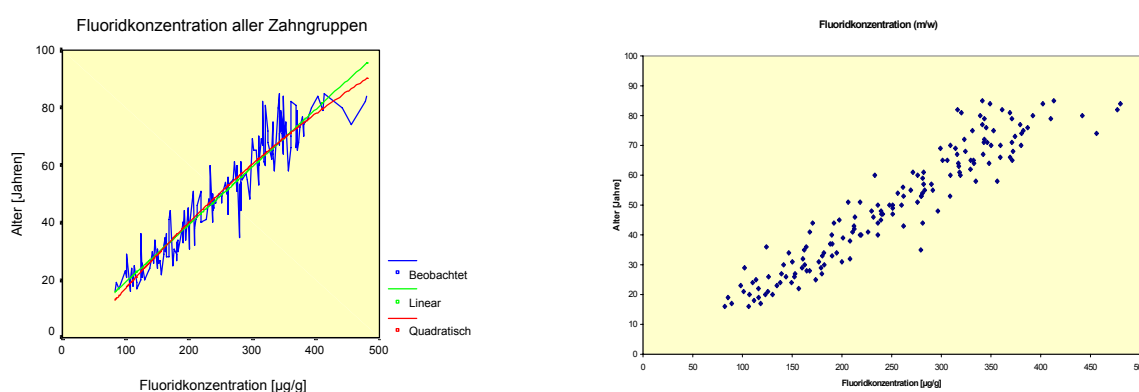


Abb.47 $\text{Alter} = f[\text{F}^- \text{-Konz.}]$ Eingezeichnet sind die Meßwerte (blau) sowie die lineare (grün) u. quadr. Kurvenanpassung. Die re. Abb. zeigt das Alter als Funktion der F^- -Konzentration.

ihren durchgeführten Fluoridbestimmungen im Dentin an überwiegend mehrwurzeligen Zähnen eine vergleichbare Plateaubildung jedoch bereits um das 60. Lebensjahr nachweisen und damit 10 Jahre früher als in unseren Untersuchungen.

Geschlechtsspezifische Unterschiede

Die Unterteilung unseres Untersuchungsgutes in Zähne von weiblichen und männlichen Probanden ergab bei der durchgeführten Regressionsanalyse beim männlichen Geschlecht einen geringfügig steileren Anstieg der Regressionsgeraden als bei den weiblichen Probanden, welches einerseits durch die höheren Fluoridwerte des Mannes im Plasma (0,5 – 1,5 $\mu\text{mol/l}$) und andererseits durch die postmenopausale Osteoporose und der dadurch bedingten Entmineralisierung des Körperhartgewebes einschließlich einer Verminderung der Fluoridkonzentration erklärt werden kann (68). Unsere Untersuchungen bestätigen

zudem die Ergebnisse von STEINECKE et al., der ebenfalls einen steileren Anstieg der Regressionsgeraden bei männlichen Probanden fand.

Differenzierung der Zahngruppen

Durch eine Differenzierung in unterschiedliche Zahngruppen fanden wir die günstigste Korrelation zum Alter bei den Prämolaren des Ober- und Unterkiefers, gefolgt von den Incisivi des Unterkiefers. Die größten Standardabweichungen zum mittleren Alter wurden bei den Incisivi des Oberkiefers und den Canini des Unterkiefers ermittelt. Der Vergleich der Regressionsgeraden der einzelnen Zahntypen zeigte weiterhin, daß die Anstiege der linearen Funktionsgleichungen vergleichbar waren. Diese betrugen zwischen 0,186 und 0,23 und differierten nur unwesentlich in der zweiten Dezimalstelle. Bezogen auf den altersabhängigen Anstieg der Fluoridkonzentration im Dentin bedeutet dies, daß zwischen den unterschiedlichen Zahntypen keine differenten F^- -Konzentrationen nachweisbar waren. Daraus kann für die Altersschätzung durch die Fluoridbestimmung an einwurzeligen Zähnen geschlußfolgert werden, daß der Einfluß des Zahntyps (Incisivi, Canini etc.) vernachlässigt werden kann, da signifikante Unterschiede nicht bestehen.

Vergleich der Mittelwerte des chronologischen und des geschätzten Alters

In der gerichtsmedizinischen Praxis sollte eine Zuordnung des Alters mit einer Zuverlässigkeit von ± 5 Jahren möglich sein. Daher untergliederten wir unser Untersuchungsgut in Altersgruppen von 5 Jahren. Im Mittelwertvergleich kamen wir zu folgenden Ergebnissen:

In den Altersgruppen zwischen dem 16. und 35. Lebensjahr, also im frühen und mittleren Erwachsenenalter, wurde das chronologische mittlere Alter überschätzt. Die Differenz zwischen dem mittleren geschätzten und dem chronologischen Alter lag zwischen 2 und 3,7 Jahren und damit unter 5 Jahren, so daß eine Zuordnung zu der entsprechenden Altersgruppe möglich war. Zwischen dem 35. und dem 75. Lebensjahr betrug die Differenz der Altersschätzung zum tatsächlichen Alter weniger als 1 Jahr bei Standardabweichungen zwischen 3,2 und 6,6 Jahren. In diesem Altersbereich konnten wir das Alter am zuverlässigsten bestimmen. Oberhalb des 75. Lebensjahres wurde das Alter zunehmend unterschätzt, am deutlichsten innerhalb der Altersgruppe der 80-jährigen. In

diesen beiden Altersgruppen fand sich auch die größte Standardabweichung des errechneten Alters, was auf deutlich differente Fluoridkonzentrationen im Dentin hinweist und zu einer Unterschätzung des chronologischen Alters führte.

Vergleich der Einzelwerte der Altersschätzung anhand der Fluoridmethode

Für die Methode der Altersschätzung anhand der Fluoridbestimmung wurde das chronologische Alter mit einer Abweichung von ± 5 Jahren in 69% des Untersuchungsgutes richtig ermittelt. In 22% fand sich eine Abweichung zwischen ± 5 und ± 10 Jahren, in 9% waren die Abweichungen zwischen dem chronologischen und dem bestimmten Alter größer als ± 10 Jahre (siehe Abb. 48).

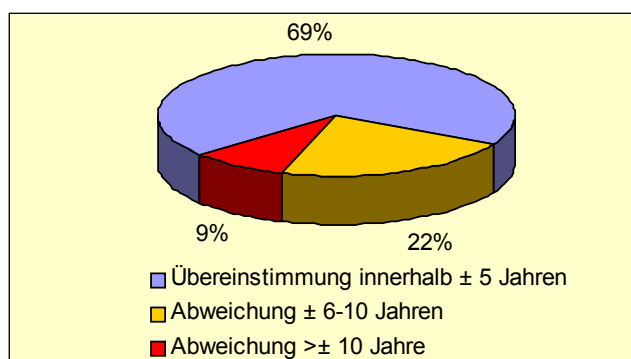


Abb. 48 Ergebnisse der Altersschätzung mittels der Fluoridbestimmung im Dentin im Bezug zum chronologischen Alter

Möglichkeiten und Grenzen der Altersbestimmung mittels der Fluoridbestimmung im Dentin

Das Dentin ist durch einen vergleichsweise stabilen und homogenen anatomischen und biochemischen Aufbau gekennzeichnet, welcher durch den bradytrophen Stoffwechsel bedingt ist. Insbesondere die kristalline Struktur des Apatitgerüsts zeichnet sich durch eine extrem hohe Stabilität aus, deren Zusammensetzung postmortal, nach Zahnextraktion und durch äußere Einflüsse kaum verändert wird. Auch exogene Einwirkungen wie extrem hohe Temperaturen, z.B. bei Verbrennungen, verändern die kristalline anorganische Zusammensetzung im Gegensatz zur organischen Matrix nicht.

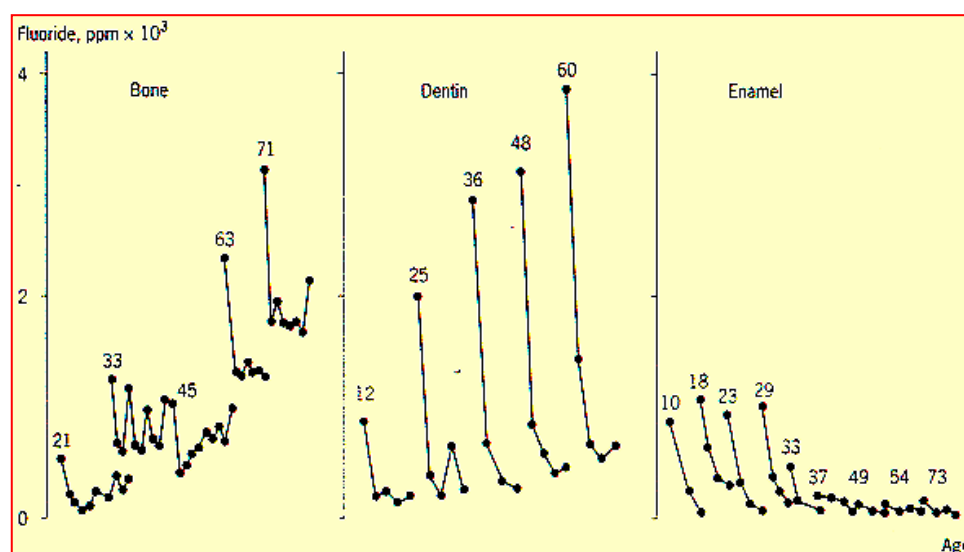


Abb. 49 Unterschiedliche altersabhängige Fluoridkonzentration im Knochen, Dentin und Schmelz. Die eingezeichneten Linien verdeutlichen die Konzentrationsänderungen von der Oberfläche zum Inneren der Gewebe bei einer konstanten Trinkwasserkonzentration bis 0,3 ppm F⁻, die Zahlenangaben beziehen sich auf das Alter. Abbildung modifiziert nach WEATHERELL et al. (63)

Daraus folgt, daß die Konzentration der im Apatitgerüst eingebauten Fluoridionen dauerhaft unverändert bleibt. Eine Einlagerung oder Abgabe von Fluoriden ist nach Unterbrechung des Dentinstoffwechsel (z.B. durch Extraktion oder durch den Tod) nicht mehr möglich. Diese biochemische Konstanz und die nachgewiesene Beziehung zwischen Fluoridkonzentration im Dentin und Alter ermöglichen eine verwertbare Altersschätzung.

Ein weiterer Vorteil liegt in der hohen Reproduzierbarkeit der Werte, wobei durch Mehrfachmessungen einer Dentinprobe eine Abweichung von unter 1% gefunden wurde.

Wir konnten an unserem Untersuchungsgut nachweisen, daß die Altersschätzung anhand der Fluoridbestimmung im Dentin eine verwertbare Alterseinschätzung zwischen dem 20. und dem 75. Lebensjahr ermöglicht. In dieser Alterspanne konnte in unserem Untersuchungsgut eine Übereinstimmung mit dem chronologischen Alter von ± 5 Jahren in 69% der Fälle ermittelt werden, wobei besonders der Altersbereich zwischen dem 35. und dem 70. Lebensjahr zuverlässig geschätzt werden konnte.

Bei Anwendung der Methode in jüngerem Lebensalter muß prinzipiell mit einer Überschätzung gerechnet werden, da hier offenbar eine starke Aufnahmekapazität der anorganischen Matrix für Fluoridionen im Dentin besteht. Nach BÜTTNER und WEATHERELL ist in diesem Altersabschnitt die menschliche Hartsubstanz (Knochen, Dentin) in der Lage, den überwiegenden Teil des resorbierten Fluorids zu binden, so daß die Resorption größer ist als die Abgabe mit daraus resultierender positiver Fluoridbilanz. Im Senium, also oberhalb des 75. Lebensjahres, insbesondere jedoch oberhalb des 80.

Lebensjahres ist bei der Anwendung der Fluoridmethode mit einer Abweichung von ≥ 10 Jahren vom chronologischen Alter zu rechnen, wobei wir nachweisen konnten, daß hier das Alter meist unterschätzt wurde. So wird in diesem Altersbereich allenfalls eine Zuordnung zu einer Altersgruppe von ± 10 Jahren möglich sein. Ursächlich ist hier anzunehmen, daß einerseits die Aufnahmekapazität des Apatitgerüsts durch eine Sättigung mit Fluoridionen erschöpft ist, so daß die Resorption und die Ausscheidung von Fluoridionen ein Gleichgewicht bilden (ausgeglichene Fluoridbilanz).

Nachteile der Fluoridbestimmungsmethode im Dentin

Die in unseren Bestimmungen festgestellte enge Korrelation zwischen dem Alter und der Fluoridkonzentration im Dentin mit einer Gesamtstandardabweichung von $\pm 6,4$ Jahren ist wesentlich mit der strengen Selektion unseres Untersuchungsgutes zu begründen, wobei die Fluoridzufuhr, hauptsächlich durch das Trinkwasser, als größter Einflußfaktor anzunehmen ist. STEINECKE et al. konnten anhand ihrer Untersuchungen statistisch nachweisen, daß die Korrelation zwischen Alter und Fluoridkonzentration bei Annahme einer linearen Abhängigkeit von 0,8 auf 0,6 bzw. 0,51 sinkt (siehe Abb. 12, 50 und 51), wenn die Fluoridkonzentration im Trinkwasser mehr als 0,3 ppm betrug. Für die exogene Fluoridzufuhr durch Ernährungsgewohnheiten, fluoridhaltige Präparate und Zahnpflegemittel konnte kein statistischer Zusammenhang erbracht werden (59).

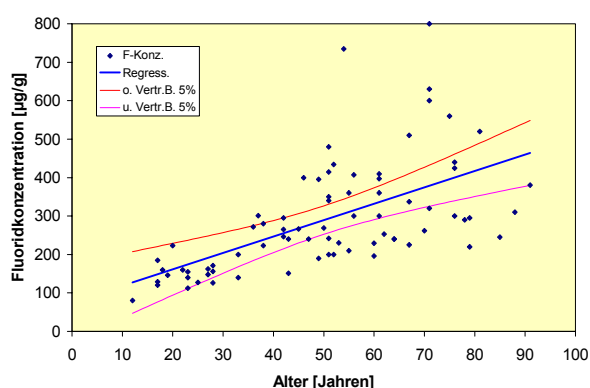


Abb. 50 F^- -Konzentration im Dentin in Bezug zum Alter bei einer Trinkwasserfluoridkonzentration von 0,31-0,6 ppm, $r=0,6$ nach STEINECKE et al. (59)

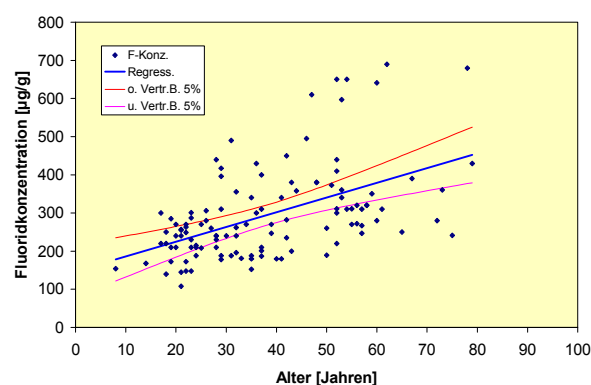


Abb. 51 F^- -Konzentration im Dentin in Bezug zum Alter bei einer Trinkwasserfluoridkonzentration von 0,61-1 ppm $r=0,51$ nach STEINECKE et al. (59)

Es wäre daher in einer weiterführenden Untersuchung zu überprüfen, ob unsere Untersuchungen zur Altersschätzung ebenfalls reproduzierbar sind, wenn die Fluoridexposition der Probanden nicht bekannt ist.

Methodische Probleme der Fluoridbestimmung im Dentin

Als Nachteil der vorgestellten Methode muß, wie bei allen biochemischen Methoden der Altersschätzung, kritisch angemerkt werden, daß die Untersuchung nur nach Aufarbeitung mit einem entsprechendem Untersuchungsaufwand möglich ist. In eilbedürftigen Fällen kann mit einem Untersuchungsergebnis frühestens nach ca. 10 Stunden gerechnet werden. Nach der Veraschung der Zähne sind diese für eine über die Fluoridbestimmung hinausgehende biochemische Untersuchung, z.B. für die Lebensaltersbestimmung durch Ermittlung des Razemisierungsgrades von Asparaginsäure, nicht mehr nutzbar.

Es bedarf einer standardisierten Probenentnahme, die den Übergangsbereich zwischen Dentin und Schmelz und Dentin und Pulpa ausschließt und möglichst zentral aus dem Dentin erfolgen sollte. Die in Abb. 49 von WEATHERELL et al. (63) in einer vergleichenden Untersuchung bestimmten Fluoridkonzentrationen von menschlichem Knochen und Dentin bestätigen unsere Ergebnisse eines altersabhängigen Zuwachses der Fluoridkonzentration. Bedingt durch unsere standardisierte Entnahme konnten wir jedoch eine derartige große Schwankungsbreite nicht bestätigen (siehe auch Abb. 9 und 10).

Kariöse Läsionen im Dentin sollten nicht zur Untersuchung herangezogen werden, da seit langem bekannt ist, daß hier eine deutlich niedrigere Fluoridkonzentration vorliegt.

Weiterhin ist die Methode am Lebenden nur dann einsetzbar, wenn eine zahnmedizinische Indikation zur Extraktion vorliegt.

Eine Entnahme von Dentin am Lebenden, vergleichbar mit der standardisierten Probeentnahme zur Bestimmung des Razemisierungsgrades der Asparaginsäure im Dentin, die von RITZ-TIMME et al. angegeben wird, ist zwar methodisch prinzipiell möglich, war aber für unser Untersuchungsgut nicht relevant und konnte daher nicht geprüft werden.

Diskussion der Ergebnisse der Altersschätzung anhand der Transparenzmethode

Übereinstimmend mit BANG und RAMM (1970); FALTER und HIEMER (1974), SCHARF (1977); FISCHER; RICHTER und RICHTER (1982) konnte auch in unseren Untersuchungen der Beginn der Transparenzausbildung bereits um das 20. Lebensjahr ermittelt werden und damit ca. 10 Jahre früher als von GUSTAFSON (1955) angegeben.

Die ermittelten Werte der Transparenzmessungen unterzogen wir der Regressions- und Korrelationsanalyse unter dem pragmatischen Regressionsansatz: $\text{Alter} = f[\text{Transparenz}]$ bzw. $\text{Alter} = f[\text{Fluoridkonzentration}]$.

Nach Bestimmung der Wurzeldentintransparenz am intakten Zahn führten wir Regressionsberechnungen 1. und 2. Ordnung durch, um zu überprüfen, welcher Funktionstyp den ersichtlichen Zusammenhang zwischen Alter und zunehmender Transparenz mathematisch am besten beschreibt. Bei diesen Berechnungen zeigte sich, daß bis zum 75. Lebensjahr ein linearer Zusammenhang (Regression 1. Ordnung) angenommen werden kann. Wir ermittelten mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,943 und einer Standardabweichung von $\pm 6,6$ Jahren eine gute Korrelation zwischen Alter und Transparenz unter Annahme einer linearen Regression. Die quadratische Regression führte zu einer geringfügigen Verbesserung lediglich in der 2. Dezimalstelle ($R = 0,95$ Standardabweichung $\pm 6,2$ Jahre). Bei einem Bestimmtheitsmaß für alle Zähne von 0,89 kann geschlußfolgert werden, daß mit einer Bestimmtheit von 89% eine lineare Beziehung zwischen der Wurzeltransparenz und dem Lebensalter angenommen werden kann. In 11% sind andere Faktoren einflußnehmend, die jedoch von uns nicht untersucht wurden. Die Regression 2. Ordnung (siehe rote Anpassungslinie in Abb. 34) beschreibt den etwas geringeren Transparenzzuwachs in höherem Alter zwar besser, jedoch im frühen Erwachsenenalter etwas schlechter. Insgesamt ergab sich mathematisch nur in der zweiten Dezimalstelle eine bessere Anpassung zwischen Transparenz und Alter.

Der von uns ermittelte Korrelationskoeffizient von 0,943 ist mit dem anderer Untersucher [JOHANSON (1971) $R = 0,79$, SCHARF (1977) $R = 0,93$ unter der wichtigen Einschränkung vergleichbar, daß wir diejenigen Zähne (6%), die keine definierbare Transparenz zeigten, nicht in eine vergleichende Untersuchung einbeziehen konnten, wodurch eine Verbesserung der Gesamtregression erreicht wurde.

Vergleich des chronologischen Alters und des errechneten Alters durch die Transparenzmethode

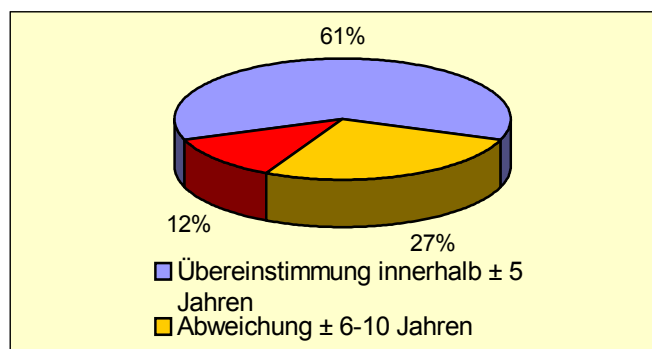


Abb.52 Ergebnisse der Altersschätzung mittels der Transparenzbestimmung am intakten Zahn im Bezug zum chronologischen Alter

Für die Methode der Altersschätzung anhand der Transparenzbestimmung verdeutlicht Abb.52, daß das chronologische Alter mit einer Abweichung von ± 5 Jahren in 61% des Untersuchungsgutes richtig ermittelt wurde. In 39% der Fälle fand sich eine Abweichung von mehr als ± 5 Jahren, wobei in 27% der Fälle die Abweichung vom chronologischen Alter mehr als ± 10 Jahre betrug.

Damit war in unserem Untersuchungsgut die Altersbestimmung anhand der Fluoridmethode unter Berücksichtigung der Auswahlkriterien die etwas zuverlässigere Methode (siehe auch Abb. 48).

Da besonders in der Altersgruppe der über 80-jährigen in 89% eine Unterschätzung des Alters um mehr als 10 Jahre erfolgte und damit deutlich mehr als die Standardabweichung vermuten ließe, ist in der Praxis davon auszugehen, daß eine zuverlässige Altersbestimmung mittels der Transparenzmethode in diesem Altersabschnitt nicht sicher möglich ist.

Zwischen dem 40. und dem 70. Lebensjahr (siehe auch Tab. 14 und Abb. 36) betrug die Abweichung zum chronologischen Alter ± 5 Jahre, so daß in dieser Altersgruppe eine verlässlichere Altersbestimmung möglich war. Zwischen dem 20. und dem 40. Lebensjahr ist mit einer Überschätzung des chronologischen Alters zu rechnen.

Methodische Probleme der Wurzeltransparenzmethode

ZURTH et al. führten die eingeschränkte Verwendbarkeit der Transparenzmethode in ihren Untersuchungen darauf zurück, daß eine Überbewertung der von BANG und RAMM

sowie WEGNER und ALBRECHT angegebenen Korrelationskoeffizienten erfolgte, bei Vernachlässigung der von den gleichen Autoren angegebenen Standardabweichungen und aufgrund einer unzulässigen Extrapolation der für ein konkretes Krankengut berechneten linearen Regression. Sie wiesen weiterhin auf die nicht gleichsinnige Ausprägung der Wurzelentintransparenz an unterschiedlichen Zahntypen sowie auf die eingeschränkte Anwendbarkeit der Annahme einer linearen Regression hin (73).

Wir fanden in unserem Untersuchungsgut die beste Korrelation zwischen dem Alter und der Transparenz bei den oberen Eckzähnen ($R = 0,976$) mit einer Standardabweichung von $\pm 4,24$ Jahren (Abb. 42 u. Tab. 20). Danach folgten die oberen Schneidezähne ($R = 0,969$) mit einer Standardabweichung von $\pm 5,23$ Jahren gegenüber dem errechneten mittleren Alter (Tab. 19 und Abb. 41). Geringfügig schlechter war die Korrelation bei den unteren Schneidezähnen (siehe Tab. 22) mit $R = 0,902$ sowie einer Standardabweichung von $\pm 8,31$ Jahren (Abb. 44 und Tab. 22). Unter Berücksichtigung des Sachverhaltes, daß eine Regressionsgerade nur in dem Bereich interpretiert werden kann (Extrapolation auf den Schnittpunkt mit der Y-Achse), indem auch Werte bestimmt wurden, fanden wir eher eine gleichsinnige Ausprägung der Dentintransparenz. Der Schnittpunkt mit der Y-Achse (Alter in Jahren) wurde dabei zwischen dem 8. und dem 14. Lebensjahr für die unterschiedlichen Zahntypen ermittelt (vgl. Abb. 41 bis Abb. 46 sowie zugehörige Tabellen). Unter Annahme einer Regression 2. Ordnung wäre jedoch dieser Schnittpunkt dem Alter von etwa 3 Jahren zuzuordnen gewesen. Dies hätte unseren Ergebnissen jedoch widersprochen, in denen wir eine Ausbildung der Wurzelentintransparenz um das 20. Lebensjahr fanden.

Für die Transparenzmethode wäre anhand der linearen und der quadratischen Regression mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,94 sowie einer Standardabweichung von 6,6 Jahren (siehe Tab. 12) eine der Fluoridmethode vergleichbare Genauigkeit anzunehmen gewesen. Jedoch zeigte sich gerade im Vergleich der Standardabweichungen (siehe auch Tab. 13, 14 und Tab. 10) innerhalb der gebildeten Altersgruppen, daß die Abweichungen zwischen 14 und 24 Jahre betrugen und somit um mehr als 10 Jahre von denen der Fluoridmethode differierten.

Das bedeutet bezugnehmend auf unsere Ergebnisse für die Altersschätzung anhand der Transparenzmethode Differenzen zwischen 14 und 24 Jahren zum chronologischen Alter und bekräftigt die Methodenkritik durch ZURTH et al.

Außer dem grundsätzlichen Vorteil der Transparenzmethode, die relativ zügig und ohne großen apparativen Aufwand die Ermittlung der Transparenzgrenzen erlaubt, steht der folgende wesentliche Nachteil der Methode gegenüber: Die Transparenzgrenzen müssen durch den jeweiligen Untersucher subjektiv festgelegt werden. Das bedeutet jedoch, daß bereits kleinere Differenzen von weniger als einem Millimeter zu Schätzfehlern von mehreren Jahren führen. Da bislang jedoch kein quantitatives Meßverfahren existiert, welches diese untersucherabhängige Fehlermöglichkeit eliminieren könnte, sehen wir darin den größten Schwachpunkt der Methode.

Zusammenfassung

Ausgehend von dem Kenntnisstand, daß es einen lebensaltersabhängigen Zuwachs der Fluoridkonzentration im Dentin gibt, war es die Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit zu überprüfen, ob dieser Zusammenhang eine Lebensaltersschätzung zuläßt. Denn die Fluoridbestimmung im Dentin kann zur Altersschätzung nur dann Verwendung finden, wenn sie unter Berücksichtigung der Streubreite bzw. des Vertrauensintervalles zuverlässig und reproduzierbar eine Altersbestimmung zuläßt. Deshalb wurde die Anwendbarkeit der Altersschätzung durch die Ermittlung der Fluoridkonzentration im Dentin in verschiedenen Altersklassen geprüft und deren Genauigkeit in der Altersschätzung mit der Methode der Wurzelidentintransparenz verglichen.

Als Untersuchungsmaterial wurden 160 einwurzelige Zähne ausgewählt. Den größten Anteil des Untersuchungsmateriales bildeten mit 19% die Prämolaren des Unterkiefers gefolgt von den 2. Prämolaren des Oberkiefers (18%), wobei keine 1. Prämolaren des Oberkiefers aufgrund ihrer Wurzelanatomie in unser Untersuchungsgut einbezogen wurden, 17% entfielen auf die Eckzähne des Oberkiefers, 16% auf die Eckzähne des Unterkiefers, 16% auf die Schneidezähne des Oberkiefers und 14% auf die Schneidezähne des Unterkiefers.

Die Alterseinteilung legten wir in 5-Jahresstufen vom 16. bis zum 85. Lebensjahr fest, wobei jede Altersgruppe durch mindestens 10 Zähne repräsentiert war. Die Mehrzahl der Zähne zeigten keine oder nur geringfügige kariöse Veränderungen. Im jüngeren Lebensalter erfolgte die Extraktion vordergründig aus kieferorthopädischen Indikationen, im höheren Lebensalter wegen parodontologische Erkrankungen und im hohen Lebensalter waren prothetische Restaurationen Ursachen der Extraktion. Als Voraussetzung für die Fluoridbestimmung im Dentin wurde festgelegt, daß die Probanden während der letzten 10 Jahre in einem Trinkwassergebiet gelebt hatten, in dem die Fluoridkonzentration nicht größer als 0,3 ppm F^- betrug. Das trifft in Deutschland auf über 90% der Trinkwassergebiete zu. Weiterhin sollte langfristig keine regelmäßige zusätzliche Fluoridaufnahme stattgefunden haben und die Probanden sollten nicht an chronischen Krankheiten wie z.B. Diabetes mellitus, endokrinologischen Erkrankungen, Niereninsuffizienz, chronischen Verdauungsstörungen (i.B. Malabsorption, Maldigestion), metabolischen Knochenerkrankungen, Osteoporose oder Erkrankungen der rheumatischen Formenkreises erkrankt sein.

Die Ergebnisse der Altersschätzung durch beide Verfahren wurden untereinander, im direkten als auch im statistischen Vergleich sowie im Bezug zum bekannten chronologischen Alter geprüft.

Während sich nach Ermittlung der mathematischen Regressionsfunktion ($\text{Alter} = f[\text{F}^- \text{Konzentration}]$ bzw. $\text{Alter} = f[\text{Transparenz}]$) eine vergleichbare Alterskorrelation ($r = 0,95$) fand, zeigten sich jedoch in der Überprüfung des errechneten und des chronologischen Alters doch deutliche Abweichungen.

Für die Altersschätzung anhand der Fluoridmethode wurde in 69%, bezogen auf das gesamte Untersuchungsmaterial, das Alter mit einer Abweichung von ± 5 Jahren richtig ermittelt. In 22% der Fälle betrug die Abweichung $\pm 6 - 10$ Jahre, in 9 % betrug die Abweichung mehr als ± 10 Jahren. Für die Transparenzmethode ergab sich eine Übereinstimmung innerhalb von 5 Jahren in 61%, in 12 % war die Differenz größer als 10 Jahre. Aus der Auswertung der Einzelwerte des geschätzten Alters und der Altersgruppen konnten wir unter Bezugnahme der bekannten Bestimmungsmethoden der Altersbestimmung für die Anwendbarkeit der Fluoridmethode folgendes ableiten:

Im Kindes- und Jugendalter ist eine Altersbestimmung anhand der klinischen und radiologischen Erfassung der Gebißentwicklung das zuverlässigere Verfahren mit einer Schätzgenauigkeit von ± 2 Jahren. Die Altersschätzung durch die Bestimmung des Fluoridgehaltes im Dentin ist in dieser Altersgruppe weniger zuverlässig, da man eine Standardabweichung von ca. 6 Jahren berücksichtigen muß. Weiterhin muß, ausgehend von unseren Untersuchungen, in diesem Altersbereich mit einer Überschätzung des chronologischen Alters gerechnet werden. Da sich das Transparenzphänomen erst um das 20. Lebensjahr ausbildet, ist eine zuverlässige Altersschätzung mit dieser Methode für diesen Lebensabschnitt nicht möglich.

Im Erwachsenenalter, nach Abschluß der Wachstumsperiode, ist die Altersschätzung anhand der Gebißentwicklung kaum noch verwertbar. In diesem Altersabschnitt erwies sich die Altersbestimmung anhand der Fluoridmethode als das zuverlässigere Verfahren. Mittels der Fluoridbestimmung im Dentin konnte im Altersbereich zwischen dem 20. und dem 75., besonders jedoch zwischen dem 35. und 70. Lebensjahr, in unserem Untersuchungsgut eine zuverlässige Altersschätzung erfolgen. Zuverlässig erwies sich in diesem Altersbereich auch die Wurzeltransparenzbestimmung, wobei die Gesamtstandardabweichung ($\pm 6,4$ bzw. $\pm 6,6$ Jahre) für beide Methoden vergleichbar war. Gerade in dieser Altersgruppe war die Schätzgenauigkeit mittels der Fluoridmethode

größer und die tatsächliche Streubreite in den Altersgruppen geringer als mit der Transparenzmethode.

Im Senium, oberhalb des 75. Lebensjahres, insbesondere jedoch oberhalb des 80. Lebensjahres, ist bei der Anwendung der Fluoridmethode mit einer Abweichungen von ≥ 10 Jahren vom chronologischen Alter zu rechnen, wobei mit beiden Methoden das Alter meist unterschätzt wurde. Die ermittelte Streubreite der Transparenzmethode ist mit ca. 20 Jahren in diesem Altersabschnitt noch größer. So wird in diesem Altersbereich allenfalls eine Zuordnung zu einer Altersgruppe von ± 10 Jahren möglich sein.

Dem Vorteil der zügigen und ohne wesentliche Aufarbeitung möglichen Altersschätzung durch die Transparenzmessung am intakten Zahn steht der Nachteil einer erheblicheren Streubreite gegenüber, welche größer ist, als es die Standardabweichung der Regression vermuten ließe. Dies ist in der methodischen Schwäche der Transparenzmethode begründet. Es steht bislang kein geeignetes quantitatives Meßverfahren zur Verfügung, das die untersucherabhängige Beurteilung der Transparenzgrenzen ersetzen und damit besser reproduzierbar machen könnte.

Dem Vorteil der Fluoridbestimmung im Dentin mittels ionensensitiver Elektroden mit einer hohen Selektivität und Reproduzierbarkeit stehen folgenden methodischen Nachteilen gegenüber: Die gefundene sehr enge Korrelation ist wesentlich mit der Selektion in unserem Untersuchungsgut zu begründen. Bei sehr hoher und mehrjähriger endogener Fluoridzufuhr, i.B. durch das Trinkwasser (bei Konzentrationen $>0,3$ bzw. 1 ppm F^-) oder durch mehrjährige Einnahme von Fluoridpräparaten muß mit einer Überschätzung des Alters gerechnet werden. Die Bestimmungsmethode bedarf einer aufwendigen und standardisierten Präparation, da in der Übergangszone zum Schmelz bzw. zur Pulpa höhere Fluoridkonzentrationen als im zentralen Dentin vorliegen. Da die Bestimmung nicht am intakten Zahn durchführbar ist, kann mit Untersuchungsergebnissen erst nach 10 Stunden gerechnet werden. Die eigentliche Fluoridkonzentrationsmessung am aufgearbeiteten Dentin ist meßtechnisch einfach und wird in großem Umfang auch in der analytischen und klinischen Chemie als Standardverfahren eingesetzt.

Beide Bestimmungsverfahren, insbesondere jedoch die Fluoridmethode, müssen sich jedoch mit der evaluierten Methode der Altersschätzung anhand der Ermittlung des Razemisierungsgrades von Asparaginsäure vergleichen lassen, deren geringere Streubreite von $\pm 3-8$ Jahren und höhere Reproduzierbarkeit nicht erreicht werden kann.

- (1) Arends, J. W.L.: Jongebloed, J. Schulthof: Crystallite diameters of enamel near the anatomical surface. An investigation of mature, deciduous and non-erupted enamel. *Caries Res.* 17 (1983) 97
- (2) Bang, G., E. Ramm: Determination of age in humans from root dentine transparency. *Acta odont. Scand.* 28 (1970) 3 - 35
- (3) Baume, R.: zitiert bei Balogh, K., L. Molnar, D. Schranz, G. Huszar : *Gerostomatologie*. J.A.Barth, Leipzig (1962)
- (4) Besymenski, L.: *Der Tod des Adolf Hitlers*. Herbig, München (1982)
- (5) Bodecker, C. F.: A consideration of some of the changes in the teeth from youth to the old age. *Dental Cosmos* 67 (1925) 543 - 549
- (6) Büttner W.: The retention of fluoride by the skeleton. *J. Nutr.* 65 (1958) 259 - 266
- (7) Crossner CG., L. Mansfeld : Determination of dental age in adopted non-European children. *Swed. Dent. J.* 7 (1983) 1- 10
- (8) Dalitz, G.D.: Age determination of adult human remains by teeth examination. *J. Sci. Soc.* 3 (1962) 11 - 21
- (9) Demirjan A., H. Goldstein, JM Tanner: A new system of dental age assessment. *Hum. Biol.* 45 (1973) 221 - 227
- (10) Demirijan A.: zitiert in Falkner F. JM. Tanner: *Human growth*. Academic Press, New York, London, (1986) 269 - 298
- (11) Elliott C.G., M.D. Smith: Dietary fluoride related to the fluorid content of teeth. *J. Dent. Res.* 39 (1960) 93 - 98
- (12) Endris, R.: *Forensische Katastrophenmedizin, Identifizierungskommissionen*. Kriminalistikverlag, Heidelberg (1982) 214 ff
- (13) Euler, H.: Mitarbeit des Zahnarztes im Erkennungsdienst. *Dt. zahnärztliche Z.* 10 (1955) 1760 - 1762
- (14) Euler, H.: Über das Altern des menschlichen Zahnsystems. *Dt. zahnärztliche Wochenschr.* 43 (1940) 393
- (15) Ferembach, D., I. Schwidetzky, M. Stloukal: Empfehlungen für die Alters- und Geschlechtsdiagnose am Skelett. *Homo* 30 (1979) 1 -32
- (16) Glock G:E: et al.: The retention and elimination of fluorine in bones. *Biochem. J.* 35 (1941) 1235- 1239
- (17) Gustafson G., G. Koch: Age estimation up to 16 years of age based on dental development. *Odont. Revy* 25 (1974) 297 - 306
- (18) Gustafson G.: *Forensic odontology*. Staples Press, London (1966)

-
- (19) Gustafson, G.: Age determination on teeth. J Am Dent Assoc 41 (1950) 45 - 54
 - (20) Gustafson, G.: Altersbestimmung an Zähnen. Dtsch. zahnärztl. Z. 10 (1955) 1763 – 1765
 - (21) Hägg U., L. Matsson: Dental Maturity as an indicator of chronological age and precision of three methods. Euro. J. Orthod. 7 (1985) 25 - 34
 - (22) Hefti A., Th. Marthaler: Bone fluoride concentration after 16 years of drinking water fluoridation. Caries Res. 15 (1981) 85 - 89
 - (23) Hurme V.: Time and Sequence of tooth eruption. The human dentition in forensic medicine. J. Forens. Science 2 (1957) 442 - 447
 - (24) Jackson D., S.M. Weidmann: Fluoride in human bone related to age and water supply of different regions. Pathology & Bacteriology 76 (1958) 451 - 459
 - (25) Johanson, G.: Age determination from teeth. Odont. Revy 22 (1971) 121 - 126
 - (26) Köhler S., R. Schmerzle, C. Loitz, K. Püschel: Die Entwicklung des Weisheitszahnes als Kriterium der Lebensaltersbestimmung. Ann. Anat. 176 (1994) 339 - 345
 - (27) Krause, D., W. Reimann: Altersbestimmung durch Messung der Wurzeldentintransparenz an intakten Zähnen. Wiss. Beiträge der Martin-Luther-Universität. 52 (1979) 56 - 59
 - (28) Krause, D., W. Reimann: Altersbestimmung durch Messung der Wurzeldentintransparenz an intakten Zähnen. Wiss. Beiträge der Martin-Luther-Universität. 52 (1979) 58 - 59
 - (29) Lacassagne, P. zitiert bei Johanson, G.: Age determination from human teeth. Odontol. Revy 22 (1971) Suppl. 21
 - (30) Lappalainen, R., M. Knuuttila: The concentration of Zn and Mg in human enamel and dentine related to age and their concentrations in the soil. Arch. Oral Biol. 26 (1981) 1- 25
 - (31) Leopold, D.: Identifikation unbekannter Toter. Schmidt-Römhild, Lübeck (1998) 220 - 221
 - (32) Marrè, B., G. Hetzer: Altersschätzung bei Kindern und Jugendlichen- Grundsatzfragen. AKFOS 6/3 (1999) 41 - 45
 - (33) Mc Cann, H.C.: Determination of fluoride in mineralized tissue using the fluorid ion elektrode. Arch. Oral Biol. 13 (1968) 475 - 478
 - (34) Mc Gaughey, Ch., E.C. Stowell: The estimation of nanogram levels of fluoride in fractions of a milligram of tooth enamel by means of liver esterase. J. dental Res.

45 (1966) 76 - 80

- (35) Metzger, Z.: Gustafsons method for age determination from teeth – a modification for the use of dentists in identification teams. J. of Forencis Science 25 (1980) 742
- (36) Miller, W.D. zitiert in Simon, W.I., W.D. Armstrong: Translucent dentin. J. Am. Dent. Ass. 28 (1941) 1115 - 1120
- (37) Mörnstad H., V. Staaf, U. Welander: Age estimation with the aid of tooth develoment. Scand. J. Dent. Res. 102 (1994b) 137 - 143
- (38) Ogino, T., H. Ogino, B. Nagy: Application of aspartic acid racemisation to the forensic odontology: post mortem designation of age of death. Forens. Sci. 29 (1985) 259 - 267
- (39) Pawlik, R.: Orale Kriterien zur Altersschätzung. Med. Diss., Berlin (1970)
- (40) Pilz, M.E., W. Reimann, D. Krause: Gerichtliche Medizin für Stomatologen. Johann Ambrosius Barth, Leipzig (1980) 127 - 130
- (41) Reinwarth, E.M., K. Kuhl, K.-D: Fett, R. Zurth: Altersmerkmal Wurzeltransparenz bei Diabetes mellitus. Kriminalistik und forensische Wissenschaften 65/66 (1987) 198 - 203
- (42) Rheinwald U.: Über das Altern der Zähne. Dt. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 46 (1966) 177 - 209
- (43) Ritz, S., H.W: Schütz, C. Peter: Postmortem estimation of age at death based on aspartic acid racemization in dentin: ist applicability for root dentin. Int. J. Leg. Med. 105 (1993) 289 - 298
- (44) Ritz-Timme S., H.J. Kaatsch: Methoden der Altersbestimmung an lebenden Personen: Möglichkeiten, Grenzen, Zulässigkeit und ethische Vertretbarkeit. Rechtsmedizin 6 (1996) 171 - 176
- (45) Ritz-Timme S., R. Stock, H.W. Schütz, H.J. Kaatsch: Age estimation in biopsy specimens of dentin. Int. J. Legal. Med. 108 (1995) 135- 139
- (46) Ritz-Timme S.: Lebensaltersbestimmung aufgrund des Razemisierungsgrades von Asparaginsäure. AKFOS Newsletter 7/2 (2000) 24 -27
- (47) Saunders S., C.DeVito, A. Herring, R. Southern, R. Hoppa: Accuracy tests of tooth formation age estimation for human skeletal remains. Am. J. Phys. Anthropol. 92 (1993) 173 - 188
- (48) Scharf, U.: Altersbestimmung anhand der Wurzeltransparenz. Dipl.-Arbeit, Dresden (1977)
- (49) Schroeder, H. E.: Orale Strukturbiologie. Thieme, Stuttgart (1992) 110 - 114

-
- (50) Schroeder, H. E.: *Orale Strukturbilogie*. Thieme, Stuttgart (1992) 72 - 73
 - (51) Schroeder, H. E.: *Orale Strukturbilogie*. Thieme, Stuttgart (1992) 118 - 119
 - (52) Schroeder, H. E.: *Orale Strukturbilogie*. Thieme, Stuttgart (1992) 98 - 113
 - (53) Singer L., W.D. Armstrong: Relation between the fluoride contents of rat calcified tissues. *J. Dent. Res.* 48 (1969) 947 - 950
 - (54) Soggnaes, R., F. Ström: The odontological identification of Adolf Hitler. Definitive documentation by X-rays, interrogations and autopsy findings. *Acta Odont. Scand.* 31 (1973) 43 - 69
 - (55) Soggnaes, R: Zahnidentifikationen berühmter und berüchtigter Personen. *AKFOS Newsletter* 6/6 (1999) 22 - 23
 - (56) Solheim, T.: A new method for dental estimation in adults. *Forensic Sci. Int.* 59 (1993) 137 - 147
 - (57) Solheim, T.: Dental age-related regressive changes and a new method for calculating the age of an individual. Thesis, University of Oslo, Oslo (1993)
 - (58) Steinecke H., R. Vonau: Die Bestimmung der Fluoridkonzentration im Dentin – eine Möglichkeit der Altersbestimmung? *Krim. und forens. Wiss.* 63/64 (1986) 203 - 204
 - (59) Steinecke, H., R. Vonau, M. Beer: Die Fluoridkonzentration in der Zahnhartsubstanz-eine Möglichkeit der Altersschätzung. Unveröffentlichte Arbeit des Institutes für Rechtsmedizin der Friedrich-Schiller-Universität Jena, Arbeitsgruppe Erfurt (1995).
 - (60) Strauch, H., Lignitz E., Geserick G., Dürwald W.: Gerichtsmedizinische Erfahrungen bei der Untersuchung der Opfer des Flugzeugabsturzes in Berlin-Bohnsdorf. *Krim. und forens. Wiss.* 71/72 (1988) 207 - 213
 - (61) Toland, J.: Adolf Hitler. Gustav Lübke, Bergisch Gladbach (1983) 1108 - 1109
 - (62) Tomes, A. zitiert in Feiler, E.: Die Transparenz des Zahnbeines. *Z. Stomat.* 21 (1923) 595 – 614
 - (63) Weatherell J.A., J. Kirkham, C. Roninson: Fluoride in teeth and bone. In: *Fluoride in dentistry*. Munksgaard, Copenhagen (1996) 69 – 87
 - (64) Weatherell, J.A., D. Deutsch, C. Robinson: Assimilation of fluorid by enamel throughout the life of the tooth. *Caries Res.* 11 (1977) 85 - 115
 - (65) Weatherell, J.A., D. Deutsch, C. Robinson: Fluoride and its relation to bones and teeth. In: Kuhlencordt, H.P. Kruse: *Calcium metabolism, bone and metabolic bone Diseases*. Springer, Berlin (1975)
 - (66) Weatherell, J.A.: Effect of resorption on the fluoride content of deciduous dentin.

-
- Arch. Oral Biol. 11 (1966) 749 – 756
- (67) Weidmann, S.M.: The uptake and distribution of fluorine in bones. J. Path. Bact. 78 (1959) 243 – 255
- (68) Whitford G.M.: The Metabolism and Toxicity of Fluoride. Karger, Basel (1989) 3-49
- (69) Wintgen, A.: Altersschätzung nach Gustavson an Zähnen mit pathologischen Veränderungen. Med. Diss., Berlin (1979)
- (70) Zander, H., B. Hürzeler: Continuous cementum apposition. J. Dent. Res. 37 (1958) 1035
- (71) Zober A., B. Schellmann: Fluoridbestimmung in Knochenproben vom menschlichen Beckenkamm. Z. Klein. Chemie und klinische Biochemie 13 (1975) 197 - 201
- (72) Zurth R., G. Geserick, B. Marrè: Kritische Überprüfung der Altersschätzung bei unbekannten Toten. AKFOS Newsletter 3/3 (1996b) 66 - 69
- (73) Zurth, R., G. Geserick: Forensisch-odontologische Altersschätzung- eine kritische Bilanz unter Berücksichtigung der Wurzelentintransparenz. Rechtsmedizin 7 (1996) 6 - 14

Nr.	CF- [µg/g]	Tr. [mm]	Alter [Jahren]	Alter F- Meth.	Alter Tr.- Meth.	Diff.F- Meth.	Diff.Tr.- Meth.	ZF	sex
1	107,1	2,3	20	20,8	27,6	1	8	21	m
2	116,4	1,2	19	22,6	19,6	4	1	11	w
3	85,6	2,2	19	16,5	26,9	-3	8	13	m
4	123,1	1,6	20	24	22,5	4	3	23	m
5	118,4	0,3	17	23	13,1	6	-4	25	m
6	130,4	2,9	20	25,4	31,9	5	12	31	w
7	89,3	0,9	17	17,2	17,4	0	0	43	w
8	82,4	0,7	16	15,8	16	0	0	43	m
9	111,8	0,8	18	21,7	16,7	4	-1	44	w
10	106,4	0,4	16	20,6	13,8	5	-2	34	w
11	125,6	1,6	21	24,5	22,5	3	2	21	m
12	173,8	3,6	25	34,2	37	9	12	23	m
13	149,5	2,4	24	29,3	28,3	5	4	13	w
14	98,4	2,6	23	19	29,8	-4	7	25	m
15	116,2	1,8	22	22,6	24	1	2	25	w
16	113,8	2,8	25	22,1	31,2	-3	6	25	w
17	101,3	2	21	19,6	25,4	-1	4	33	m
18	138,1	2,7	24	27	30,5	3	6	43	w
19	110,3	2,4	24	21,4	28,3	-3	4	33	m
20	134,7	2,8	23	26,3	31,2	3	8	34	w
21	156,7	1,4	22	30,7	21,1	9	-1	35	m
22	162,7	2,9	30	31,9	31,9	2	2	12	w
23	126,4	2,2	26	24,6	26,9	-1	1	22	m
24	160,1	2,9	29	31,4	31,9	2	3	23	w
25	182,4	3,1	30	35,9	33,4	6	3	23	m
26	152,9	2,4	27	30	28,3	3	1	25	m
27	164,6	2,6	28	32,3	29,8	4	2	25	w
28	167,6	3,4	28	32,9	35,6	5	8	25	m
29	139,2	2,7	27	27,2	30,5	0	3	32	w
30	102,2	3,7	29	19,8	37,7	-9	9	32	m
31	152,4	2	26	29,9	25,4	4	-1	43	w
32	179,2	2,9	29	35,2	31,9	6	3	33	w
33	179,9	2,1	27	35,4	26,1	8	-1	34	m
34	143,9	1,9	26	28,2	24,7	2	-1	45	m
35	141,4	3,8	30	27,7	38,5	-2	8	35	w
36	200,1	4,2	31	39,4	41,4	8	10	12	w
37	279,4	4,2	35	55,3	41,4	20	6	11	m
38	181,9	4,5	34	35,8	43,5	2	10	25	m
39	176,9	3	31	34,8	32,7	4	2	26	m
40	208,2	4,9	32	41,1	46,4	9	14	15	m
41	180,4	2,9	33	35,5	31,9	2	-1	25	w
42	190,2	3,9	33	37,4	39,2	4	6	31	m
43	162,2	4,9	35	31,8	46,4	-3	11	42	m
44	194,9	3,2	34	38,4	34,1	4	0	44	m
45	150,2	3,8	31	29,4	38,5	-2	7	34	w
46	146,7	4,4	34	28,7	42,8	-5	9	45	w
47	160,8	3,5	32	31,5	36,3	0	4	44	w
48	164,2	3,7	36	32,2	37,7	-4	2	12	w
49	208,2	3,1	38	41,1	33,4	3	-5	22	m
50	219,4	4,2	40	43,3	41,4	3	1	23	m
51	188,4	4,1	37	37,1	40,6	0	4	13	w

Nr.	CF- [µg/g]	Tr. [mm]	Alter [Jahren]	Alter F- Meth.	Alter Tr.- Meth.	Diff.F- Meth.	Diff.Tr.- Meth.	ZF	sex
52	201,1	4,2	39	39,6	41,4	1	2	15	m
53	218,4	3,7	40	43,1	37,7	3	-2	31	w
54	124,2	4,8	36	24,2	45,7	-12	10	32	w
55	190,4	4,2	37	37,5	41,4	0	4	42	m
56	236,2	3,2	40	46,7	34,1	7	-6	34	w
57	189,9	5,6	40	37,4	51,5	-3	12	45	m
58	210,9	4	41	41,6	39,9	1	-1	22	m
59	262,1	4,2	43	51,9	41,4	9	-2	21	m
60	239,3	4,4	45	47,3	42,8	2	-2	13	w
61	192,1	5,1	44	37,8	47,9	-6	4	23	m
62	167,7	3,9	41	32,9	39,2	-8	-2	25	w
63	226,4	3,7	41	44,7	37,7	4	-3	25	m
64	236,3	3,5	44	46,7	36,3	3	-8	31	m
65	212,2	3,9	43	41,9	39,2	-1	-4	41	w
66	281,3	3,7	44	55,7	37,7	12	-6	43	w
67	170,6	5,9	44	33,5	53,7	-10	10	43	w
68	197,4	4,2	45	38,9	41,4	-6	-4	44	m
69	212,6	3,5	42	41,9	36,3	0	-6	34	m
70	231,8	4,2	46	45,8	41,4	0	-5	21	m
71	239,9	5,2	47	47,4	48,6	0	2	23	m
72	296,5	5,3	48	58,8	49,3	11	1	23	w
73	251,1	5,5	50	49,7	50,8	0	1	25	w
74	247,9	5,7	50	49	52,2	-1	2	15	m
75	251,1	4,7	47	49,7	45	3	-2	25	m
76	241,2	3,9	47	47,7	39,2	1	-8	31	w
77	239,4	4,3	48	47,3	42,1	-1	-6	33	w
78	213,2	4,2	46	42,1	41,4	-4	-5	43	m
79	260,1	4,1	50	51,5	40,6	1	-9	44	m
80	236,2	6,2	50	46,7	55,9	-3	6	34	m
81	251,2	4,5	49	49,7	43,5	1	-5	43	w
82	229,9	4,9	48	45,4	46,4	-3	-2	33	w
83	276,1	4,7	51	54,7	45	4	-6	12	m
84	218,3	4,9	51	43,1	46,4	-8	-5	11	w
85	279,8	5,7	53	55,4	52,2	2	-1	23	m
86	281,1	6	54	55,7	54,4	2	0	13	m
87	262,1	6	53	51,9	54,4	-1	1	15	w
88	291,4	7,4	55	57,7	64,6	3	10	15	m
89	279,9	6,2	53	55,4	55,9	2	3	15	m
90	269,3	5,7	55	53,3	52,2	-2	-3	31	w
91	206,3	3,5	51	40,7	36,3	-10	-15	32	w
92	308,8	5,2	53	61,2	48,6	8	-4	41	m
93	256,2	5,7	54	50,7	52,2	-3	-2	43	w
94	283,3	5,1	55	56,1	47,9	1	-7	44	w
95	334,7	5,5	58	66,4	50,8	8	-7	11	m
96	276,2	6,2	60	54,7	55,9	-5	-4	22	m
97	233,2	6,4	60	46,1	57,3	-14	-3	23	w
98	281,3	7	59	55,7	61,7	-3	3	13	w
99	290,1	5,8	57	57,5	53	0	-4	15	m
100	261,5	6,7	56	51,7	59,5	-4	3	25	w
101	309,2	7	60	61,3	61,7	1	2	32	w
102	356,2	5,9	58	70,8	53,7	13	-4	43	m

Nr.	CF- [µg/g]	Tr. [mm]	Alter [Jahren]	Alter F- Meth.	Alter Tr.- Meth.	Diff.F- Meth.	Diff.Tr.- Meth.	ZF	sex
103	282,3	5,5	57	55,9	50,8	-1	-6	44	w
104	319,2	6,5	60	63,3	58	3	-2	34	m
105	301,3	6,2	65	59,7	55,9	-5	-9	21	w
106	332,9	6,1	64	66,1	55,1	2	-9	22	m
107	329,7	6,2	65	65,4	55,9	0	-9	12	w
108	317,6	6,9	63	63	60,9	0	-2	13	m
109	329,4	6,8	62	65,4	60,2	3	-2	13	m
110	282,3	7,5	61	55,9	65,3	-5	4	25	w
111	332,4	8	65	66	68,9	1	4	32	m
112	317,2	5,9	64	62,9	53,7	-1	-10	42	w
113	348,1	7,2	64	69,1	63,1	5	-1	33	m
114	318,4	6,7	61	63,2	59,5	2	-2	43	m
115	271,4	6,2	61	53,7	55,9	-7	-5	33	w
116	306,1	7,5	65	60,7	65,3	-4	0	34	m
117	371,4	7	65	73,8	61,7	9	-3	44	w
118	359,5	7,3	70	71,4	63,8	1	-6	12	w
119	380,3	7,7	70	75,6	66,7	6	-3	22	m
120	314,2	7,5	69	62,3	65,3	-7	-4	23	w
121	324,3	8,4	68	64,4	71,8	-4	4	25	m
122	342,1	7,5	67	67,9	65,3	1	-2	35	m
123	315,9	8,2	67	62,7	70,4	-4	3	32	w
124	359,4	6,9	66	71,4	60,9	5	-5	31	m
125	372,1	7,2	68	73,9	63,1	6	-5	41	m
126	309,1	6,2	70	61,3	55,9	-9	-14	33	w
127	350,1	8,2	70	69,5	70,4	0	0	43	w
128	369,2	7,2	66	73,4	63,1	7	-3	44	m
129	299,2	6,9	69	59,3	60,9	-10	-8	45	m
130	371,1	7,9	71	73,7	68,2	3	-3	11	m
131	456,1	8,5	74	90,8	72,5	17	-1	22	m
132	331,4	9,1	75	65,8	76,9	-9	2	13	w
133	342,9	8,7	71	68,1	74	-3	3	23	m
134	323,1	9,2	72	64,1	77,6	-8	6	23	w
135	380,7	8,7	74	75,7	74	2	0	25	m
136	382,4	8,3	75	76	71,1	1	-4	31	m
137	352,5	10,5	75	70	87	-5	12	43	w
138	343,3	7,9	72	68,2	68,2	-4	-4	33	w
139	374,1	10,4	73	74,3	86,3	1	13	35	m
140	346,2	6,8	71	68,7	60,2	-2	-11	45	w
141	386,9	8,5	76	76,9	72,5	1	-3	12	w
142	441,9	10,7	80	87,9	88,5	8	8	23	m
143	379,3	10,5	77	75,4	87	-2	10	13	m
144	341,4	9	77	67,8	76,2	-9	-1	15	w
145	345,2	7,4	76	68,5	64,6	-7	-11	15	w
146	392,1	8,3	80	78	71,1	-2	-9	31	m
147	371,1	9,5	79	73,7	79,8	-5	1	41	w
148	339,2	8	80	67,3	68,9	-13	-11	33	m
149	410,1	7,4	79	81,6	64,6	3	-14	43	w
150	343,4	10,3	79	68,2	85,6	-11	7	44	w
151	477,1	10,5	82	95	87	13	5	12	m
152	361,2	8,4	82	71,8	71,8	-10	-10	11	m
153	349,1	10,3	84	69,3	85,6	-15	2	22	w

Nr.	CF- [µg/g]	Tr. [mm]	Alter [Jahren]	Alter F- Meth.	Alter Tr.- Meth.	Diff.F- Meth.	Diff.Tr.- Meth.	ZF	sex
154	320,2	11,2	81	63,5	92,1	-17	11	23	m
155	316,4	7,2	82	62,8	63,1	-19	-19	15	w
156	402,1	11,5	84	80	94,3	-4	10	32	w
157	369,1	7,2	81	73,3	63,1	-8	-18	31	w
158	480,1	9,9	84	95,6	82,7	12	-1	33	m
159	341,3	8,1	85	67,8	69,6	-17	-15	43	w
160	413,2	12,5	85	82,2	101,5	-3	17	44	m

Anlage 2

chron. Alter [Jahren]	Alter F- Methode	Alter Tr.- Methode	untere Grenze	obere Grenze	untere Grenze	obere Grenze
			Alter F- Methode	Alter F- Methode	Tr.- Methode	Tr.- Methode
20	20,8	27,6	19	23	26	29
19	22,6	19,6	21	24	18	22
19	16,5	26,9	14	19	25	29
20	24	22,5	22	26	21	24
17	23	13,1	21	25	11	15
20	25,4	31,9	24	27	30	33
17	17,2	17,4	15	19	15	20
16	15,8	16	14	18	14	18
18	21,7	16,7	20	24	15	19
16	20,6	13,8	19	22	12	16
21	24,5	22,5	23	26	21	24
25	34,2	37	33	35	36	38
24	29,3	28,3	28	31	27	30
23	19	29,8	17	21	28	31
22	22,6	24	21	24	22	26
25	22,1	31,2	20	24	30	33
21	19,6	25,4	18	22	24	27
24	27	30,5	25	29	29	32
24	21,4	28,3	20	23	27	30
23	26,3	31,2	25	28	30	33
22	30,7	21,1	29	32	19	23
30	31,9	31,9	31	33	30	33
26	24,6	26,9	23	26	25	29
29	31,4	31,9	30	33	30	33
30	35,9	33,4	35	37	32	35
27	30	28,3	28	31	27	30
28	32,3	29,8	31	34	28	31
28	32,9	35,6	32	34	34	37
27	27,2	30,5	26	29	29	32
29	19,8	37,7	18	22	36	39
26	29,9	25,4	28	31	24	27
29	35,2	31,9	34	37	30	33
27	35,4	26,1	34	37	24	28
26	28,2	24,7	27	30	23	26
30	27,7	38,5	26	29	37	40
31	39,4	41,4	38	41	40	43
35	55,3	41,4	54	56	40	43
34	35,8	43,5	35	37	42	45

chron. Alter [Jahren]	Alter F- Methode	Alter Tr.- Methode	untere Grenze	obere Grenze	untere Grenze	obere Grenze
			Alter F- Methode	Alter F- Methode	Tr.- Methode	Tr.- Methode
31	34,8	32,7	33	36	31	34
32	41,1	46,4	40	42	45	47
33	35,5	31,9	34	37	30	33
33	37,4	39,2	36	39	38	40
35	31,8	46,4	30	33	45	47
34	38,4	34,1	37	40	33	35
31	29,4	38,5	28	31	37	40
34	28,7	42,8	27	30	42	44
32	31,5	36,3	30	33	35	38
36	32,2	37,7	31	34	36	39
38	41,1	33,4	40	42	32	35
40	43,3	41,4	42	44	40	43
37	37,1	40,6	36	38	39	42
39	39,6	41,4	38	41	40	43
40	43,1	37,7	42	44	36	39
36	24,2	45,7	23	26	45	47
37	37,5	41,4	36	39	40	43
40	46,7	34,1	46	48	33	35
40	37,4	51,5	36	39	50	53
41	41,6	39,9	41	43	39	41
43	51,9	41,4	51	53	40	43
45	47,3	42,8	46	48	42	44
44	37,8	47,9	37	39	47	49
41	32,9	39,2	32	34	38	40
41	44,7	37,7	44	46	36	39
44	46,7	36,3	46	48	35	38
43	41,9	39,2	41	43	38	40
44	55,7	37,7	55	57	36	39
44	33,5	53,7	32	35	53	55
45	38,9	41,4	38	40	40	43
42	41,9	36,3	41	43	35	38
46	45,8	41,4	45	47	40	43
47	47,4	48,6	46	48	48	50
48	58,8	49,3	58	60	48	50
50	49,7	50,8	49	51	50	52
50	49	52,2	48	50	51	53
47	49,7	45	49	51	44	46
47	47,7	39,2	47	49	38	40
48	47,3	42,1	46	48	41	43
46	42,1	41,4	41	43	40	43
50	51,5	40,6	50	52	39	42
50	46,7	55,9	46	48	55	57
49	49,7	43,5	49	51	42	45
48	45,4	46,4	44	46	45	47
51	54,7	45	54	56	44	46
51	43,1	46,4	42	44	45	47
53	55,4	52,2	54	56	51	53
54	55,7	54,4	55	57	53	55
53	51,9	54,4	51	53	53	55

chron. Alter [Jahren]	Alter F- Methode	Alter Tr.- Methode	untere Grenze Alter F- Methode	obere Grenze Alter F- Methode	untere Grenze Tr.- Methode	obere Grenze Tr.- Methode
55	57,7	64,6	57	59	63	66
53	55,4	55,9	54	56	55	57
55	53,3	52,2	52	54	51	53
51	40,7	36,3	40	42	35	38
53	61,2	48,6	60	62	48	50
54	50,7	52,2	50	52	51	53
55	56,1	47,9	55	57	47	49
58	66,4	50,8	65	68	50	52
60	54,7	55,9	54	56	55	57
60	46,1	57,3	45	47	56	58
59	55,7	61,7	55	57	60	63
57	57,5	53	56	59	52	54
56	51,7	59,5	51	53	58	61
60	61,3	61,7	60	62	60	63
58	70,8	53,7	69	72	53	55
57	55,9	50,8	55	57	50	52
60	63,3	58	62	65	57	59
65	59,7	55,9	59	61	55	57
64	66,1	55,1	65	67	54	56
65	65,4	55,9	64	67	55	57
63	63	60,9	62	64	60	62
62	65,4	60,2	64	67	59	61
61	55,9	65,3	55	57	64	67
65	66	68,9	65	67	67	70
64	62,9	53,7	62	64	53	55
64	69,1	63,1	68	71	62	64
61	63,2	59,5	62	64	58	61
61	53,7	55,9	53	55	55	57
65	60,7	65,3	60	62	64	67
65	73,8	61,7	72	75	60	63
70	71,4	63,8	70	73	63	65
70	75,6	66,7	74	77	65	68
69	62,3	65,3	61	64	64	67
68	64,4	71,8	63	66	70	73
67	67,9	65,3	67	69	64	67
67	62,7	70,4	61	64	69	72
66	71,4	60,9	70	73	60	62
68	73,9	63,1	72	76	62	64
70	61,3	55,9	60	62	55	57
70	69,5	70,4	68	71	69	72
66	73,4	63,1	72	75	62	64
69	59,3	60,9	58	60	60	62
71	73,7	68,2	72	75	67	70
74	90,8	72,5	88	93	71	74
75	65,8	76,9	64	67	75	79
71	68,1	74	67	69	72	76
72	64,1	77,6	63	65	76	79
74	75,7	74	74	77	72	76
75	76	71,1	74	78	70	73

chron. Alter [Jahren]	Alter F- Methode	Alter Tr.- Methode	untere Grenze	obere Grenze	untere Grenze	obere Grenze
			Alter F- Methode	Alter F- Methode	Tr.- Methode	Tr.- Methode
75	70	87	69	71	85	89
72	68,2	68,2	67	70	67	70
73	74,3	86,3	73	76	84	89
71	68,7	60,2	67	70	59	61
76	76,9	72,5	75	79	71	74
80	87,9	88,5	86	90	86	91
77	75,4	87	74	77	85	89
77	67,8	76,2	66	69	74	78
76	68,5	64,6	67	70	63	66
80	78	71,1	76	80	70	73
79	73,7	79,8	72	75	78	82
80	67,3	68,9	66	69	67	70
79	81,6	64,6	80	84	63	66
79	68,2	85,6	67	70	83	88
82	95	87	92	98	85	89
82	71,8	71,8	70	73	70	73
84	69,3	85,6	68	71	83	88
81	63,5	92,1	62	65	90	95
82	62,8	63,1	62	64	62	64
84	80	94,3	78	82	92	97
81	73,3	63,1	72	75	62	64
84	95,6	82,7	93	98	81	85
85	67,8	69,6	66	69	68	71
85	82,2	101,5	80	84	98	105

Mein besonderer Dank gilt Frau Prof. Dr. med. habil. A. Klein, Direktorin des Institutes für Rechtsmedizin der Friedrich – Schiller - Universität Jena, sowohl für die Überlassung des Themas als auch für das gleichbleibend große Interesse sowie für ihre Anregungen und Hinweise, ohne die diese Arbeit nicht hätte entstehen können.

Weiterhin danke ich Herrn Dr. rer. nat. H. Steinecke für die Unterstützung zur Durchführung aller experimenteller Arbeiten und Herrn Dr. rer. nat. R. Vollandt für die kritischen Hinweise zur Erstellung der Statistik und deren Interpretation.

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, daß mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität Jena bekannt ist,

ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind,

mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung der Manuskripts unterstützt haben: Frau Prof. Dr. med. habil. A. Klein, Direktorin des Institutes für Rechtsmedizin der FSU Jena, Herr Dr. rer.nat. H. Steinecke, Institut für Rechtsmedizin der FSU Jena, Arbeitsgruppe Erfurt, Herr Dr. rer.nat. R. Vollandt, Institut für Statistik, Informatik und Dokumentation der FSU Jena,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und daß Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

daß ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

daß ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Erfurt, den 30.09.2001

Lebenslauf

Persönliche Daten

Markus Schramm, geb. 08.10.1967 in Erfurt
verheiratet

Schulbildung

1974 - 1984 Besuch der 26. Polytechnischen Oberschule in Erfurt
1984 - 1986 Besuch des Heinrich Mann Gymnasium in Erfurt
1986 Ablegung des Abiturs am Heinrich Mann Gymnasium in Erfurt

Studium und Hochschulabschluß

1988 - 1990 Studium der Chemie an der Technischen Hochschule Halle Merseburg (Vordiplom) nach Ableistung des Grundwehrdienstes
1990 - 1995 Studienwechsel und Studium der Humanmedizin an der Friedrich- Schiller- Universität Jena
06.09.1996 Staatsexamen an der Friedrich-Schiller-Universität Jena
10.09.1996 Teilapprobation als Arzt im Praktikum
01.04.1998 Approbation als Arzt

Beruflicher Werdegang

9/96 bis 3/98 AiP an der 1. Chirurgischen Klinik des Klinikums Gera in den Abteilungen Allgemein-, Kinder- und Unfallchirurgie
4/1998 – 10/1998 Arzt in Weiterbildung in der Allgemeinchirurgie in Greiz

Jetzige berufliche Tätigkeit

seit 10/98 Arzt in Weiterbildung zum Facharzt für Orthopädie an der Orthopädischen Klinik des Klinikum Erfurt

Erfurt, den 30.09.2001